Environment Canada Environnement Canada

Groundwater – Nature's Hidden Treasure

What goes down, must come up

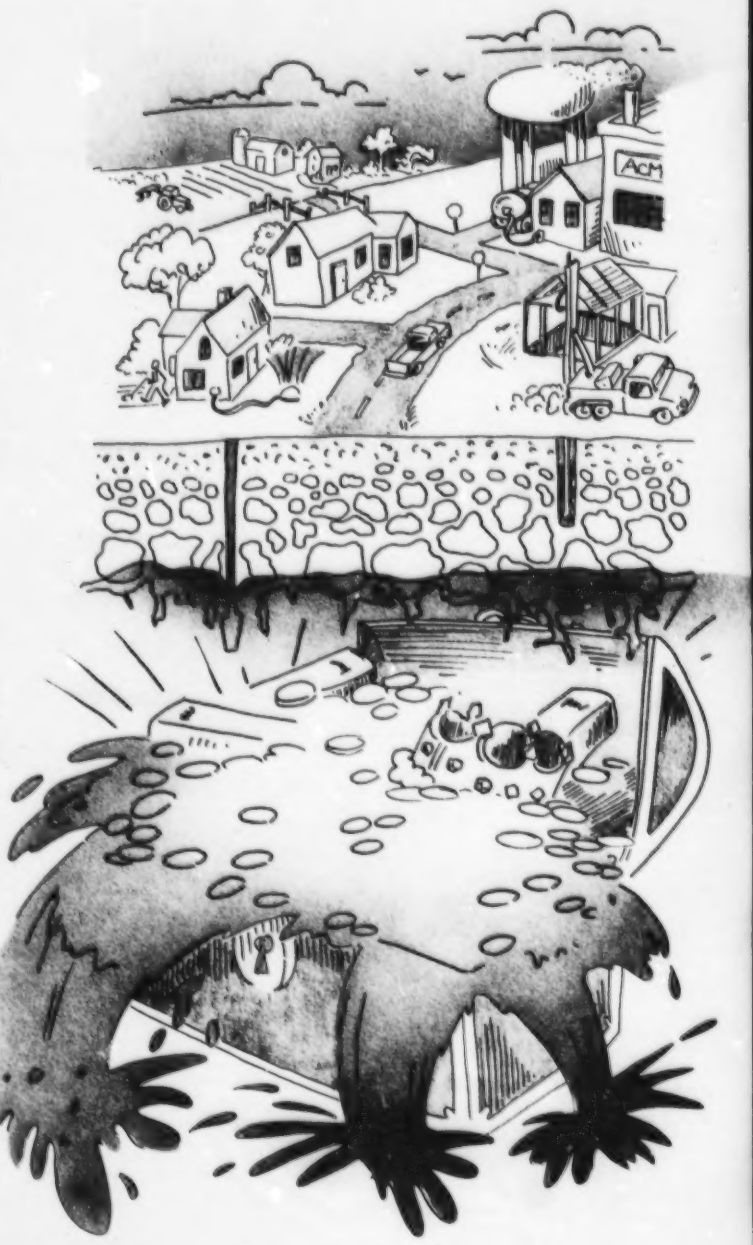
Groundwater is an essential and vital resource for about a quarter of all Canadians. It is their sole source of water for drinking and washing, for farming and manufacturing, indeed, for all their daily water needs. Yet for the majority of Canadians — those who do not depend on it — groundwater is a hidden resource whose value is not well understood or appreciated.

Our image of Canada is of a land of sparkling lakes, rivers and glaciers. Groundwater, which exists everywhere under the surface of the land, is not part of this picture. Not surprisingly, therefore, concerns of Canadians about water quality focus primarily on surface waters — our lakes and rivers. The less visible, but equally important, groundwater resources have received less public attention, except in regions of Canada where people depend on them.

Groundwater needs protection

In recent years, however, a number of events affecting groundwater quality have contributed to a heightened public awareness and concern about the importance and vulnerability of the resource. Media reports about the contamination of wells from leaking gasoline storage tanks or dry cleaning solvents, and about the effects on groundwater of chemical leakage from landfill or industrial waste disposal sites have raised public concerns about groundwater quality. Early in 1990, chemical seepage, caused by the tire fire at Hagersville, Ontario, threatened to pollute groundwater supplies in that region. Newspaper reports alerted area residents and helped focus attention on the problem of groundwater pollution.

Even where we might not use it directly as a drinking water supply we must still protect groundwater, since it will carry contaminants and pollutants from the land into the lakes and rivers from which other people get a large percentage of their freshwater supply.



M121

IMPORTANT NOTE CONCERNING THE FOLLOWING PAGES

THE PAGES WHICH FOLLOW HAVE BEEN FILMED TWICE IN ORDER TO OBTAIN THE BEST REPRODUCTIVE QUALITY

USERS SHOULD CONSULT ALL THE PAGES REPRODUCED ON THE FICHE IN ORDER TO OBTAIN A COMPLETE READING OF THE TEXT.

REMARQUE IMPORTANTE CONCERNANT LES PAGES QUI SUIVENT

LES PAGES SUIVANTES ONT ÉTÉ REPRODUITES EN DOUBLE AFIN D'AMÉLIORER LA QUALITÉ DE REPRODUCTION

LES UTILISATEURS DOIVENT CONSULTER TOUTES LES PAGES REPRODUITES SUR LA FICHE AFIN D'OBTENIR LA LECTURE DU TEXTE INTÉGRAL

Micromedia
ProQuest

20 Victoria Street
Toronto, Ontario M5C 2N8
Tel.: (416) 362-5211
Toll Free: 1-800-387-2689
Fax: (416) 362-6161
Email: info@micromedia.on.ca

Groundwater and geology

Groundwater is also important quite apart from its value as a resource or its close connection with surface water supplies. Engineers must consider groundwater when planning almost any kind of structure, either above or below the ground. Ignoring the effect of groundwater on slope stability can be both costly and dangerous. Geologists see groundwater as a major force in geological change. The fluid pressures exerted by groundwater, for example, play an important role in the occurrence of earthquakes. Geologists also know that the movement of water through underground geologic formations controls the migration and the accumulation of petroleum and the formation of some ore deposits.

What is groundwater?

It is sometimes thought that water flows through underground rivers or that it collects in underground lakes. Groundwater is not confined to only a few channels or depressions in the same way that surface water is concentrated in streams and lakes. Rather, it exists almost everywhere underground. It is found underground in the spaces between particles of rock and soil, or in crevices and cracks in rock (Figure 1). The water filling these openings is usually within 100 metres of the surface. Much of the earth's fresh water is found in these spaces. At greater depths, because of the weight of overlying rock, these openings are much smaller, and therefore hold considerably smaller quantities of water.

Groundwater flows slowly through water-bearing formations (aquifers) at different rates. In some places, where groundwater has dissolved limestone to form caverns and large openings, its rate of flow can be relatively fast but this is exceptional.

Many terms are used to describe the nature and extent of the groundwater resource (Figure 2). The level below which all the spaces are filled with water is called the *water table*. Above the water table lies the *unsaturated zone*. Here the spaces in the rock and soil contain both air and water. Water in this zone is called *soil moisture*. The entire region below the water table is called the *saturated zone*, and water in this saturated zone is called *groundwater*.

What is an aquifer?

Although groundwater exists everywhere under the ground, some parts of the saturated zone contain more water than others. An *aquifer* is an underground formation of permeable rock or loose material which can produce useful quantities of water when tapped by a well. Aquifers come in all sizes. They may be small, only a few hectares in area, or very large, underlying thousands of square kilometres of the earth's surface. They may be only a few metres thick, or they may measure hundreds of metres from top to bottom.

Groundwater — Always on the move

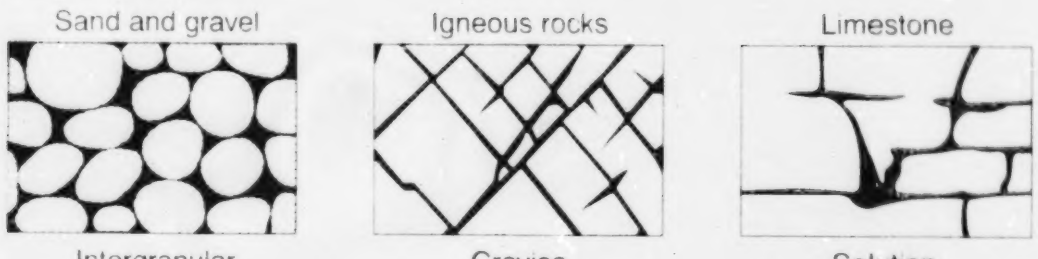
Permeable material contains interconnected cracks or spaces that are both numerous enough and large enough to allow water to move freely. In some permeable materials groundwater may move several metres in a day; in other places, it moves only a few centimetres in a century. Groundwater moves very slowly through relatively *impermeable* materials such as clay and shale.

Groundwater scientists generally distinguish between two types of aquifers in terms of the physical attributes of the aquifer: porous media and fractured aquifers.

Porous media are those aquifers consisting of aggregates of individual particles such as sand or gravel. The groundwater occurs in and moves through the openings between the individual grains. Porous media where the grains are not connected to each

Figure 1

Main types of porosity

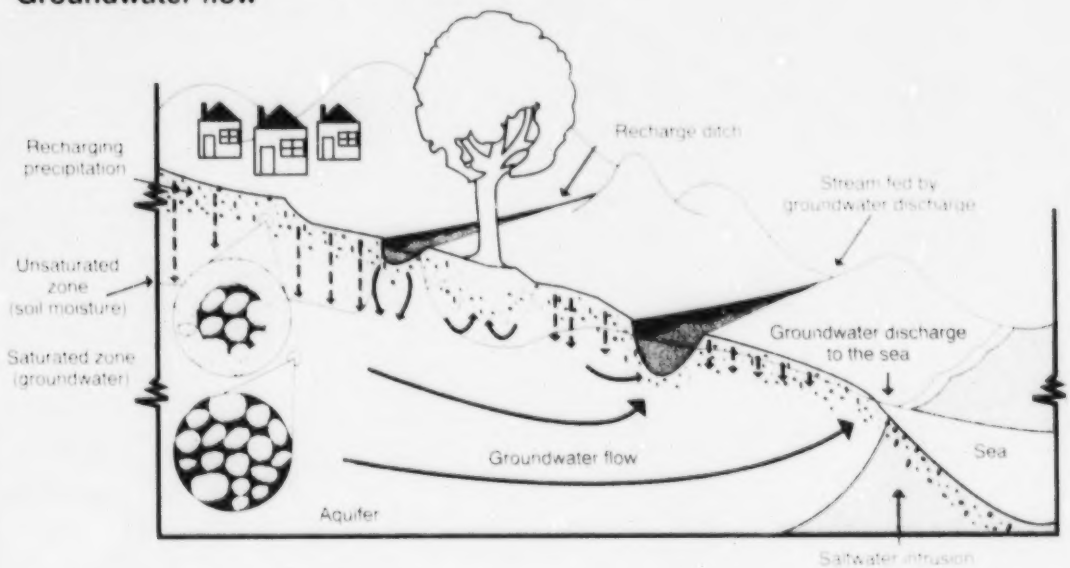


Where groundwater can be found. It fills the spaces between sand grains, in rock crevices, and in solution openings.

102-06021

Figure 2

Groundwater flow



other are considered unconsolidated. If the grains are cemented together, such aquifers are called consolidated. Sandstones are examples of consolidated porous media.

Fractured aquifers are rocks in which the groundwater moves through cracks, joints or fractures in otherwise solid rock. Examples of fractured aquifers include granite and basalt. Limestones are often fractured aquifers, but here the cracks and fractures may be enlarged by solution, forming large channels or even caverns. Limestone terrain where solution has been very active is termed karst. Porous media such as sandstone may become so highly cemented or recrystallized that all of the original space is filled. In this case, the rock is no longer a porous medium. However, if it contains cracks it can still act as a fractured aquifer.

Most of the aquifers of importance to us are unconsolidated porous media such as sand and gravel. Some very porous materials are not permeable. Clay, for instance, has many spaces between its grains, but the spaces are not large enough to permit free movement of water.

Groundwater usually flows downhill with the slope of the water table. Like surface water, groundwater flows toward, and eventually drains into streams, rivers, lakes and the oceans. Groundwater flow in the aquifers underlying surface drainage basins, however, does not always mirror the flow of water on the surface. Therefore, groundwater may move in different directions below the ground than the water flowing on the surface.

Groundwater as a source of energy

Groundwater may be used as a source of heat. Ground source heat pumps are receiving increased attention as energy efficient commercial and residential heating/cooling systems. Although initial costs are higher than air source systems – due to the additional costs of the underground installations – the much greater energy efficiency of ground source systems makes them increasingly attractive.

Research into the use of geothermal water has been carried out in a number of institutions across Canada. The City of Moose Jaw has developed a geothermal heating system for a public swimming pool and recreational facility. Carleton University in Ottawa already uses groundwater to heat and cool its buildings. The Health Centre complex in Sussex, New Brunswick has been utilizing an aquifer for thermal energy storage since 1995.

Unconfined aquifers (Figure 3) are those that are bounded by the water table. Some aquifers, however, lie beneath layers of impermeable materials. These are called confined aquifers, or sometimes artesian aquifers. A well in such an aquifer is called an artesian well. The water in these wells rises higher than the top of the aquifer because of confining pressure. If the water level rises above the ground surface a flowing artesian well occurs. The piezometric surface is the level to which the water in an artesian aquifer will rise.

Groundwater and geology

Groundwater is also important quite apart from its value as a resource or its close connection with surface water supplies. Engineers must consider groundwater when planning almost any kind of structure, either above or below the ground. Ignoring the effect of groundwater on slope stability can be both costly and dangerous. Geologists see groundwater as a major force in geological change. The fluid pressures exerted by groundwater, for example, play an important role in the occurrence of earthquakes. Geologists also know that the movement of water through underground geologic formations controls the migration and the accumulation of petroleum and the formation of some ore deposits.

What is groundwater?

It is sometimes thought that water flows through underground rivers or that it collects in underground lakes. Groundwater is not confined to only a few channels or depressions in the same way that surface water is concentrated in streams and lakes. Rather, it exists almost everywhere underground. It is found underground in the spaces between particles of rock and soil, or in crevices and cracks in rock (Figure 1). The water filling these openings is usually within 100 metres of the surface. Much of the earth's fresh water is found in these spaces. At greater depths, because of the weight of overlying rock, these openings are much smaller, and therefore hold considerably smaller quantities of water.

Groundwater flows slowly through water-bearing formations (aquifers) at different rates. In some places, where groundwater has dissolved limestone to form caverns and large openings, its rate of flow can be relatively fast but this is exceptional.

Many terms are used to describe the nature and extent of the groundwater resource (Figure 2). The level below which all the spaces are filled with water is called the *water table*. Above the water table lies the *unsaturated zone*. Here the spaces in the rock and soil contain both air and water. Water in this zone is called *soil moisture*. The entire region below the water table is called the *saturated zone*, and water in this saturated zone is called *groundwater*.

What is an aquifer?

Although groundwater exists everywhere under the ground, some parts of the saturated zone contain more water than others. An *aquifer* is an underground formation of permeable rock or loose material which can produce useful quantities of water when tapped by a well. Aquifers come in all sizes. They may be small, only a few hectares in area, or very large, underlying thousands of square kilometres of the earth's surface. They may be only a few metres thick, or they may measure hundreds of metres from top to bottom.

Groundwater — Always on the move

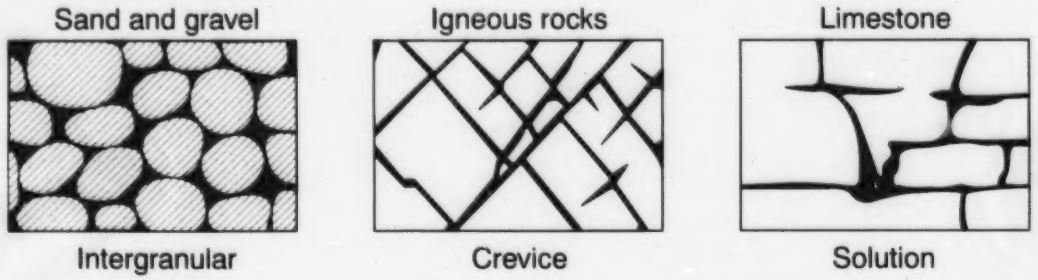
Permeable material contains interconnected cracks or spaces that are both numerous enough and large enough to allow water to move freely. In some permeable materials groundwater may move several metres in a day; in other places, it moves only a few centimetres in a century. Groundwater moves very slowly through relatively *impermeable* materials such as clay and shale.

Groundwater scientists generally distinguish between two types of aquifers in terms of the physical attributes of the aquifer: porous media and fractured aquifers.

Porous media are those aquifers consisting of aggregates of individual particles such as sand or gravel. The groundwater occurs in and moves through the openings between the individual grains. Porous media where the grains are not connected to each

Figure 1

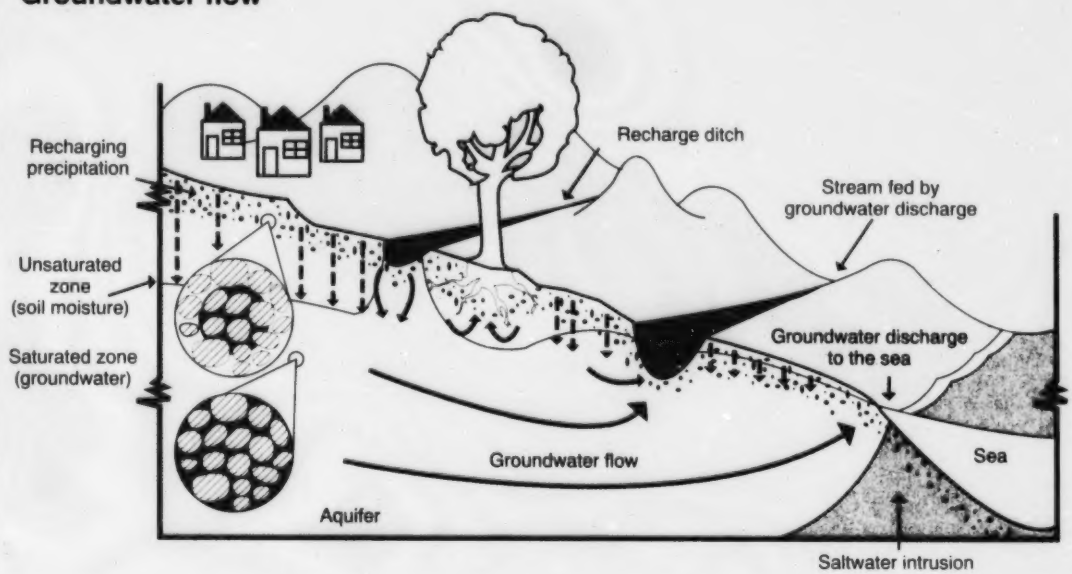
Main types of porosity



Where groundwater can be found. It fills the spaces between sand grains, in rock crevices, and in solution openings.

Figure 2

Groundwater flow



other are considered *unconsolidated*. If the grains are cemented together, such aquifers are called *consolidated*. Sandstones are examples of consolidated porous media.

Fractured aquifers are rocks in which the groundwater moves through cracks, joints or fractures in otherwise solid rock. Examples of fractured aquifers include granite and basalt. Limestones are often fractured aquifers, but here the cracks and fractures may be enlarged by solution, forming large channels or even caverns. Limestone terrain where solution has been very active is termed *karst*. Porous media such as sandstone may become so highly cemented or recrystallized that all of the original space is filled. In this case, the rock is no longer a porous medium. However, if it contains cracks it can still act as a fractured aquifer.

Most of the aquifers of importance to us are unconsolidated porous media such as sand and gravel. Some very porous materials are not permeable. Clay, for instance, has many spaces between its grains, but the spaces are not large enough to permit free movement of water.

Groundwater usually flows downhill with the slope of the water table. Like surface water, groundwater flows toward, and eventually drains into streams, rivers, lakes and the oceans. Groundwater flow in the aquifers underlying surface drainage basins, however, does not always mirror the flow of water on the surface. Therefore, groundwater may move in different directions below the ground than the water flowing on the surface.

Groundwater as a source of energy

Groundwater may be used as a source of heat. Ground source heat pumps are receiving increased attention as energy efficient commercial and residential heating/cooling systems. Although initial costs are higher than air source systems – due to the additional costs of the underground installations – the much greater energy efficiency of ground source systems makes them increasingly attractive.

Research into the use of geothermal water has been carried out in a number of institutions across Canada. The City of Moose Jaw has developed a geothermal heating system for a public swimming pool and recreational facility. Carleton University in Ottawa already uses groundwater to heat and cool its buildings. The Health Centre complex in Sussex, New Brunswick has been utilizing an aquifer for thermal energy storage since 1995.

Unconfined aquifers (Figure 3) are those that are bounded by the water table. Some aquifers, however, lie beneath layers of impermeable materials. These are called *confined aquifers*, or sometimes *artesian aquifers*. A well in such an aquifer is called an *artesian well*. The water in these wells rises higher than the top of the aquifer because of confining pressure. If the water level rises above the ground surface *a flowing artesian well* occurs. The *piezometric surface* is the level to which the water in an artesian aquifer will rise.

Figure 3

Aquifers and wells

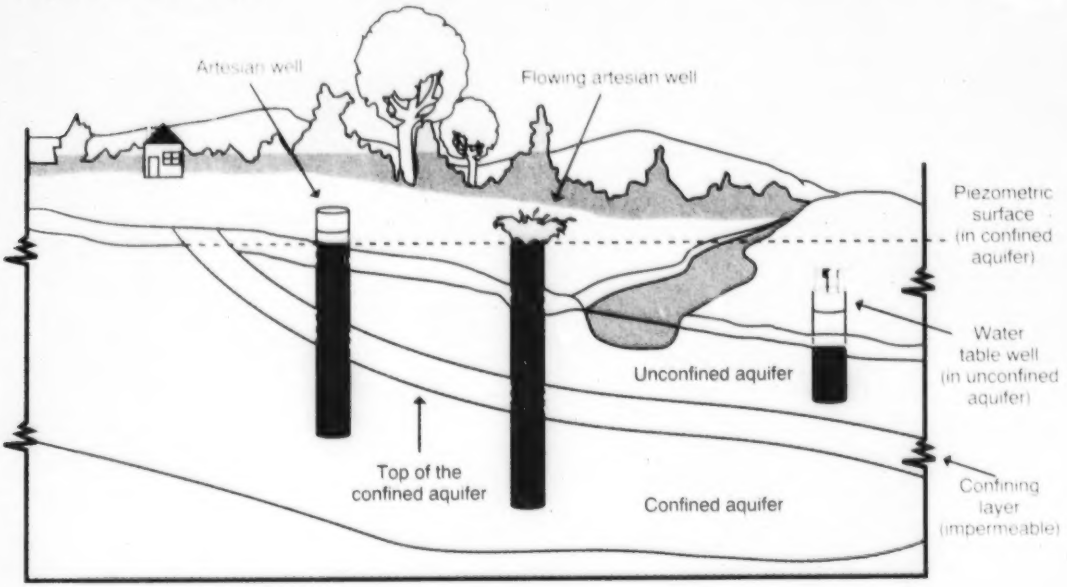
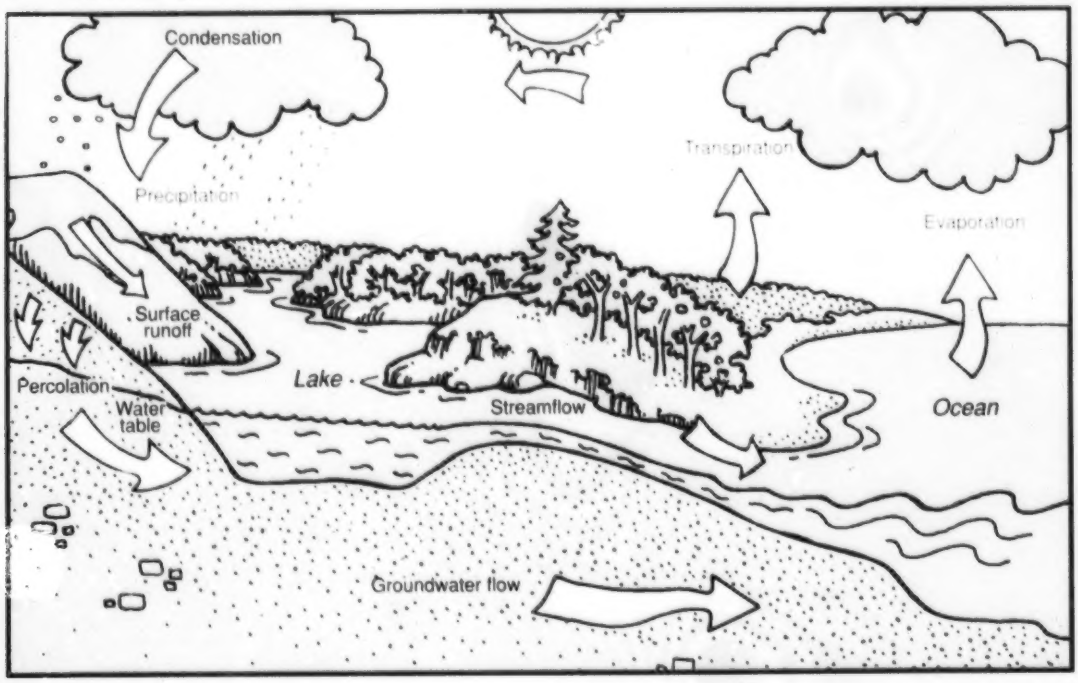


Figure 4

The hydrologic cycle



Artesian spring – Pisquid, Prince Edward Island
(Courtesy of A.D. Kindervater)

Groundwater – A major link in the hydrologic cycle

Groundwater circulates as part of the hydrologic cycle. As precipitation and other surface water sources recharge the groundwater it drains steadily, and sometimes very slowly, towards its discharge point.

Groundwater does not stay underground forever, and it does not lie still waiting for us to draw it from a well. The *hydrologic cycle* is the series of transformations that occur in the circulation of water from the atmosphere onto the surface and into the subsurface regions of the earth, and then back from the surface to the atmosphere. Precipitation becomes surface water, soil moisture, and groundwater. Groundwater circulates back to the surface, and from the surface all water returns to the atmosphere through evaporation and transpiration (Figure 4).

When precipitation falls on the land surface, part of the water runs off into the lakes and rivers. Some of the water from melting snow and from rainfall seeps into the soil and percolates into the saturated zone. This process is called *recharge* (Figure 2). Places where recharge occurs are referred to as *recharge areas*.

Eventually, this water reappears above the ground. This is called *discharge*. Groundwater may flow into streams, rivers, marshes, lakes and oceans, or it may discharge in the form of *springs* and flowing wells.

Groundwater discharge can contribute significantly to surface water flow. In dry periods, the flow of some streams may be supplied entirely by groundwater. At all times of the year, in fact, the nature of underground formations has a profound effect on the volume of surface runoff. While the rate of discharge determines the volume of water moving from the saturated zone into streams, the rate of recharge determines the volume of water running over the surface. When it rains, for instance, the volume of water running into streams and rivers depends on how much rainfall the underground materials can absorb. When there is more water on the surface than can be absorbed into the groundwater zone, it runs off into streams and lakes.

Figure 5

Estimated depth and residence time of world's water supply

Parameter	Equivalent depth (m)*	Residence time
Oceans and seas	2500	~ 4000 years
Lakes and reservoirs	0.25	~ 10 years
Swamps	0.007	~ 1 – 10 years
River channels	0.003	~ 2 weeks
Soil moisture	0.13	2 weeks – 1 year
Groundwater	120	2 weeks – 10 000 years
Ice caps and glaciers	60	10 – 1000 years
Atmospheric water	0.025	~ 10 days
Biospheric water	0.001	~ 1 week

*Computed as though storage were uniformly distributed over the entire surface of the earth

Source: Adapted from Freeze and Cherry, p. 5.

Artesian spring – Pisquid, Prince Edward Island.
(Courtesy of A.D. Kindervater)

Groundwater – A major link in the hydrologic cycle

Groundwater circulates as part of the hydrologic cycle. As precipitation and other surface water sources recharge the groundwater it drains steadily, and sometimes very slowly, towards its discharge point.

Groundwater does not stay underground forever, and it does not lie still waiting for us to draw it from a well. The *hydrologic cycle* is the series of transformations that occur in the circulation of water from the atmosphere onto the surface and into the subsurface regions of the earth, and then back from the surface to the atmosphere. Precipitation becomes surface water, soil moisture, and groundwater. Groundwater circulates back to the surface, and from the surface all water returns to the atmosphere through evaporation and transpiration (Figure 4).

When precipitation falls on the land surface, part of the water runs off into the lakes and rivers. Some of the water from melting snow and from rainfall seeps into the soil and percolates into the saturated zone. This process is called *recharge* (Figure 2). Places where recharge occurs are referred to as *recharge areas*.

Eventually, this water reappears above the ground. This is called *discharge*. Groundwater may flow into streams, rivers, marshes, lakes and oceans, or it may discharge in the form of *springs* and flowing wells.

Groundwater discharge can contribute significantly to surface water flow. In dry periods, the flow of some streams may be supplied entirely by groundwater. At all times of the year, in fact, the nature of underground formations has a profound effect on the volume of surface runoff. While the rate of discharge determines the volume of water moving from the saturated zone into streams, the rate of recharge determines the volume of water running over the surface. When it rains, for instance, the volume of water running into streams and rivers depends on how much rainfall the underground materials can absorb. When there is more water on the surface than can be absorbed into the groundwater zone, it runs off into streams and lakes.

Figure 5

Estimated depth and residence time of world's water supply

Parameter	Equivalent depth (m)*	Residence time
Oceans and seas	2500	~ 4000 years
Lakes and reservoirs	0.25	~ 10 years
Swamps	0.007	~ 1 – 10 years
River channels	0.003	~ 2 weeks
Soil moisture	0.13	2 weeks – 1 year
Groundwater	120	2 weeks – 10 000 years
Ice caps and glaciers	60	10 – 1000 years
Atmospheric water	0.025	~ 10 days
Biospheric water	0.001	~ 1 week

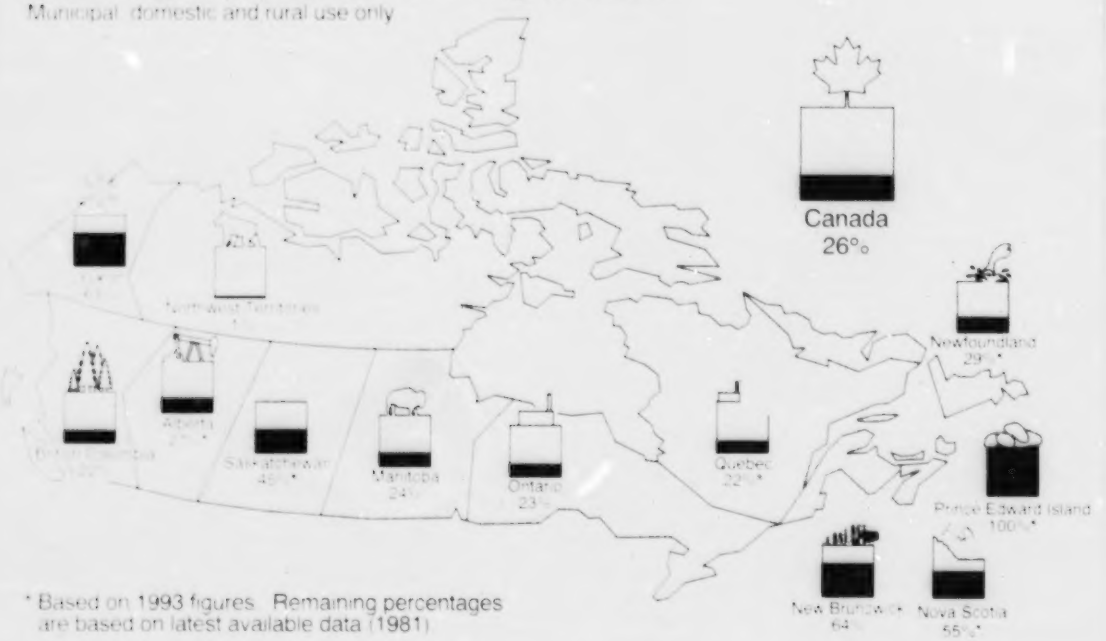
*Computed as though storage were uniformly distributed over the entire surface of the earth

Source: Adapted from Freeze and Cherry, p. 5.

Figure 6

Percentage of population reliant on groundwater

Municipal, domestic and rural use only



* Based on 1993 figures. Remaining percentages are based on latest available data (1981).

The *residence time* of groundwater, i.e., the length of time water spends in the groundwater portion of the hydrologic cycle, varies enormously. Water may spend as little as days or weeks underground, or as much as 10,000 or more years (Figure 5). Residence times of tens, hundreds, or even thousands of years are not unusual. By comparison, the average turnover time of river water, or the time it takes the water in rivers to completely replace itself, is about two weeks.

Groundwater and permafrost

Most of the Northwest Territories is covered by either the Canadian Shield or permafrost (permanently frozen ground), both of which inhibit the flow of groundwater. The major exceptions include the Mackenzie Mountains in the western Northwest Territories and Yukon, and the limestone terrain southwest of Great Slave Lake, where soils, fractured rock, and glacial debris provide material that can store and release groundwater.

On a local scale, the seasonal development of a thawed "active layer" above the permafrost can provide permeable pathways for the subsurface movement of water and contaminants.

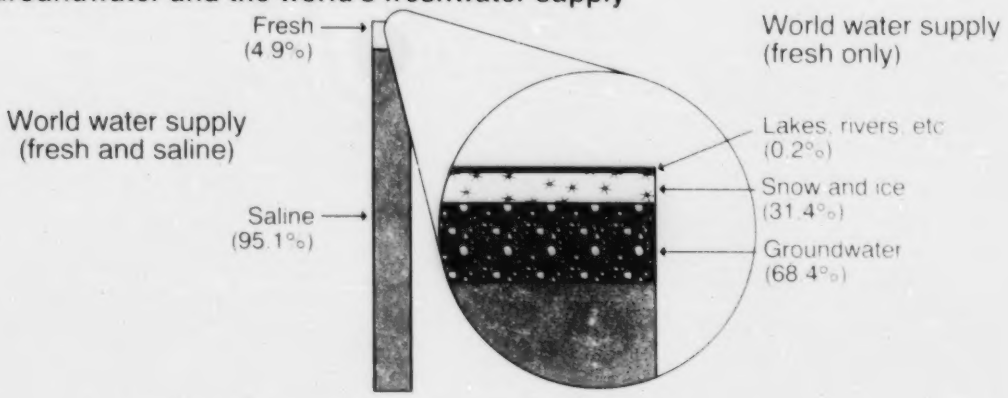
Almost eight million Canadians depend on groundwater

In Canada, 7.9 million people, or 26% of the population, rely on groundwater for domestic use (Figure 6). Approximately two thirds, or four million, of these users live in rural areas. In many areas, wells produce more reliable and less expensive water supplies than those obtained from nearby lakes, rivers and streams. The remaining two million users are located primarily in smaller municipalities where groundwater provides the primary source for their water supply systems. For instance, 100% of Prince Edward Island's population and over 60% of the population of New Brunswick and the Yukon Territory rely on groundwater to meet their domestic needs.

Futhermore, the predominant use of groundwater varies by province. In Ontario, Prince Edward Island, New Brunswick, and the Yukon, the largest users of groundwater are municipalities; in Alberta, Saskatchewan, and Manitoba, the agricultural industry for livestock watering; in British Columbia, Quebec and the Northwest Territories, industry; and in Newfoundland, and Nova Scotia, rural domestic use. Prince Edward Island is almost totally dependent on groundwater for all its uses.

Figure 7

Groundwater and the world's freshwater supply



Source: Adapted from Figure 2, Freshwater Series No. A-2, "Water — Here, There and Everywhere"

According to some estimates, the quantity of groundwater in the earth would cover the entire surface of the globe to a depth of 120 metres (Figure 5). By contrast, the volume of surface water in lakes, rivers, reservoirs and swamps could be contained in a depth of about one quarter of a metre.

It is extremely difficult to estimate the volume of groundwater on the entire planet. For example, a recent review of the literature revealed estimated figures ranging from 7 000 000 to 330 000 000 cubic kilometres. However, all the estimates imply that if we do not include the water frozen in ice caps, glaciers and permanent snow, groundwater makes up almost the entire volume of the earth's usable *fresh* water (Figure 7). Yet, this supply is often not easily accessible, and it may be difficult and expensive to develop these water supplies in some regions. The quality of the groundwater source is also a significant determining factor when identifying its use.

Groundwater quality

We often think of water quality as a matter of taste, clarity and odour, and in terms of other properties which determine whether water is fit for drinking. For other uses different properties may be important. Most of these properties depend on the kinds of substances that are dissolved or suspended in the water. Water for most industrial uses, for instance, must not be corrosive and must not contain dissolved solids that might precipitate on the surfaces of machinery and equipment.

Pure water is tasteless and odourless. A molecule of water contains only hydrogen and oxygen atoms. Water is never found in a pure state in nature. Both groundwater and surface water may contain many constituents, including microorganisms, gases, inorganic and organic materials.

The chemical nature of water continually evolves as it moves through the hydrologic cycle. The kinds of chemical constituents found in groundwater depend, in part, on the chemistry of the precipitation and recharge water. Near coastlines, precipitation contains higher concentrations of sodium chloride, and downwind of industrial areas, airborne sulphur and nitrogen compounds make precipitation acidic.

One of the most important natural changes in groundwater chemistry occurs in the soil. Soils contain high concentrations of carbon dioxide which dissolves in the groundwater, creating a weak acid capable of dissolving many silicate minerals. In its passage from recharge to discharge area, groundwater may dissolve substances it encounters or it may deposit some of its constituents along the way. The eventual quality of the groundwater depends on temperature and pressure conditions, on the kinds of rock and soil formations through which the groundwater flows, and possibly on the residence time. In general, faster flowing water dissolves less material. Groundwater, of course, carries with it any soluble contaminants which it encounters.

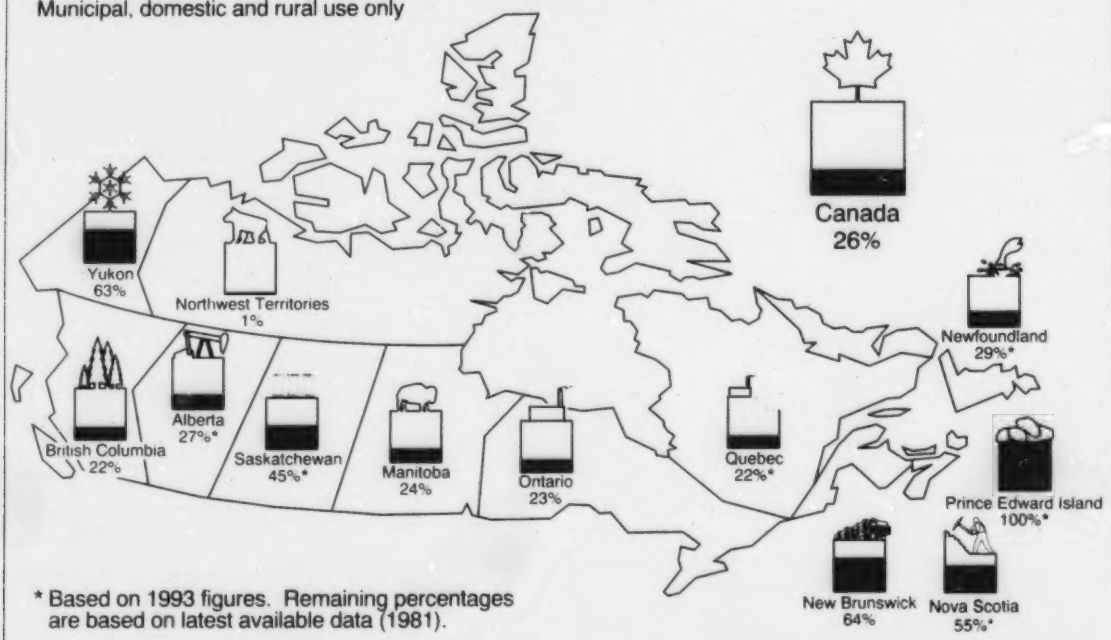
Saltwater intrusion

Saltwater intrusion can be a problem in coastal areas where rates of groundwater pumping are high enough to cause seawater to invade freshwater aquifers (Figure 2). The problem can be avoided by appropriate well field design and by drilling relief wells to keep the salt water away from the fresh groundwater source. Some wells pumping salt water in Prince Edward Island, are used as convenient water supplies for shellfish farms.

Figure 6

Percentage of population reliant on groundwater

Municipal, domestic and rural use only



* Based on 1993 figures. Remaining percentages are based on latest available data (1981).

The *residence time* of groundwater, i.e., the length of time water spends in the groundwater portion of the hydrologic cycle, varies enormously. Water may spend as little as days or weeks underground, or as much as 10 000 or more years (Figure 5). Residence times of tens, hundreds, or even thousands of years are not unusual. By comparison, the average turnover time of river water, or the time it takes the water in rivers to completely replace itself, is about two weeks.

Groundwater and permafrost

Most of the Northwest Territories is covered by either the Canadian Shield or permafrost (permanently frozen ground), both of which inhibit the flow of groundwater. The major exceptions include the Mackenzie Mountains in the western Northwest Territories and Yukon, and the limestone terrain southwest of Great Slave Lake, where soils, fractured rock, and glacial debris provide material that can store and release groundwater.

On a local scale, the seasonal development of a thawed "active layer" above the permafrost can provide permeable pathways for the subsurface movement of water and contaminants.

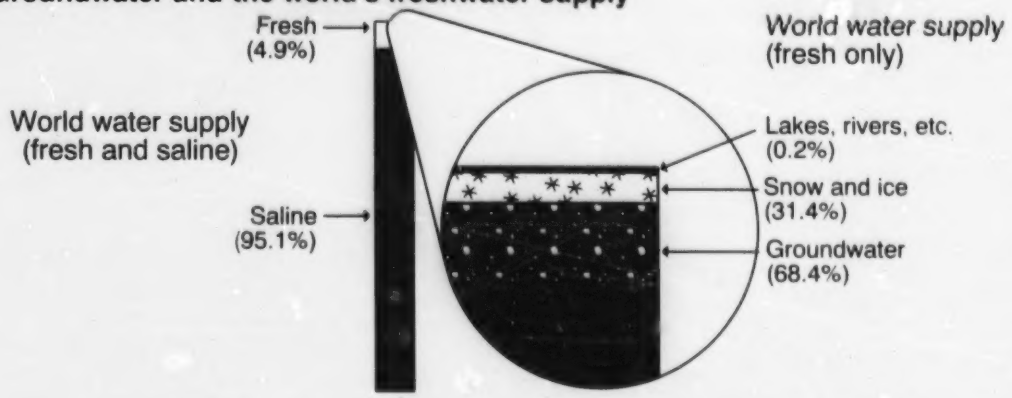
Almost eight million Canadians depend on groundwater

In Canada, 7.9 million people, or 26% of the population, rely on groundwater for domestic use (Figure 6). Approximately two thirds, or four million, of these users live in rural areas. In many areas, wells produce more reliable and less expensive water supplies than those obtained from nearby lakes, rivers and streams. The remaining two million users are located primarily in smaller municipalities where groundwater provides the primary source for their water supply systems. For instance, 100% of Prince Edward Island's population and over 60% of the population of New Brunswick and the Yukon Territory rely on groundwater to meet their domestic needs.

Futhermore, the predominant use of groundwater varies by province. In Ontario, Prince Edward Island, New Brunswick, and the Yukon, the largest users of groundwater are municipalities; in Alberta, Saskatchewan, and Manitoba, the agricultural industry for livestock watering; in British Columbia, Quebec and the Northwest Territories, industry; and in Newfoundland, and Nova Scotia, rural domestic use. Prince Edward Island is almost totally dependent on groundwater for all its uses.

Figure 7

Groundwater and the world's freshwater supply



Source: Adapted from Figure 2, Freshwater Series No. A-2, "Water — Here, There and Everywhere".

According to some estimates, the quantity of groundwater in the earth would cover the entire surface of the globe to a depth of 120 metres (Figure 5). By contrast, the volume of surface water in lakes, rivers, reservoirs and swamps could be contained in a depth of about one quarter of a metre.

It is extremely difficult to estimate the volume of groundwater on the entire planet. For example, a recent review of the literature revealed estimated figures ranging from 7 000 000 to 330 000 000 cubic kilometres. However, all the estimates imply that if we do not include the water frozen in ice caps, glaciers and permanent snow, groundwater makes up almost the entire volume of the earth's usable *fresh* water (Figure 7). Yet, this supply is often not easily accessible, and it may be difficult and expensive to develop these water supplies in some regions. The quality of the groundwater source is also a significant determining factor when identifying its use.

Groundwater quality

We often think of water quality as a matter of taste, clarity and odour, and in terms of other properties which determine whether water is fit for drinking. For other uses different properties may be important. Most of these properties depend on the kinds of substances that are dissolved or suspended in the water. Water for most industrial uses, for instance, must not be corrosive and must not contain dissolved solids that might precipitate on the surfaces of machinery and equipment.

Pure water is tasteless and odourless. A molecule of water contains only hydrogen and oxygen atoms. Water is never found in a pure state in nature. Both groundwater and surface water may contain many constituents, including microorganisms, gases, inorganic and organic materials.

The chemical nature of water continually evolves as it moves through the hydrologic cycle. The kinds of chemical constituents found in groundwater depend, in part, on the chemistry of the precipitation and recharge water. Near coastlines, precipitation contains higher concentrations of sodium chloride, and downwind of industrial areas, airborne sulphur and nitrogen compounds make precipitation acidic.

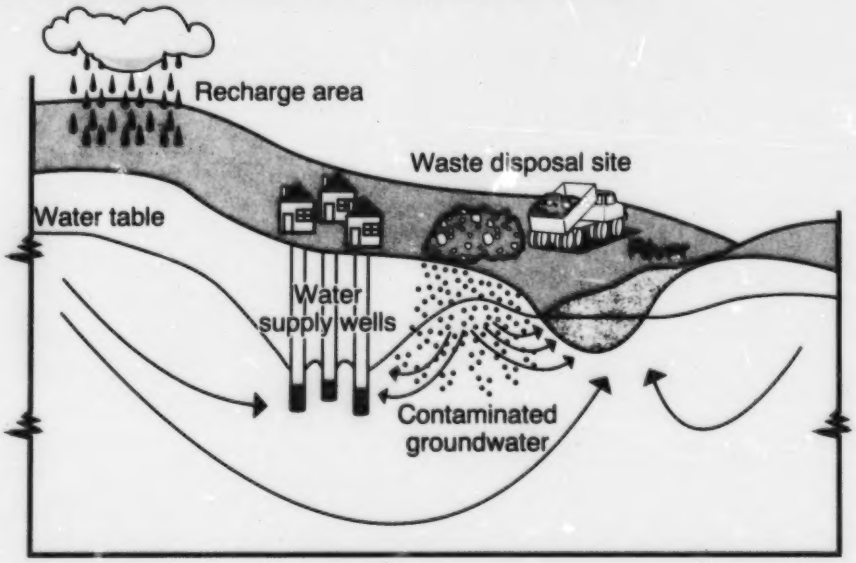
One of the most important natural changes in groundwater chemistry occurs in the soil. Soils contain high concentrations of carbon dioxide which dissolves in the groundwater, creating a weak acid capable of dissolving many silicate minerals. In its passage from recharge to discharge area, groundwater may dissolve substances it encounters or it may deposit some of its constituents along the way. The eventual quality of the groundwater depends on temperature and pressure conditions, on the kinds of rock and soil formations through which the groundwater flows, and possibly on the residence time. In general, faster flowing water dissolves less material. Groundwater, of course, carries with it any soluble contaminants which it encounters.

Saltwater Intrusion

Saltwater intrusion can be a problem in coastal areas where rates of groundwater pumping are high enough to cause seawater to invade freshwater aquifers (Figure 2). The problem can be avoided by appropriate well field design and by drilling relief wells to keep the salt water away from the fresh groundwater source. Some wells pumping salt water in Prince Edward Island, are used as convenient water supplies for shellfish farms.

Figure 8

Groundwater contamination from a waste disposal site



Scientists assess *water quality* by measuring the amounts of the various constituents contained in the water. These amounts are often expressed as milligrams per litre (mg/L), which is equivalent to the number of grams of a substance per million grams of water.

The suitability of water for a given use depends on many factors such as hardness, salinity and pH. Acceptable values for each of these parameters for any given use depend on the use, not on the source of the water, so that the considerations important for surface water (as mentioned in Freshwater Series No. A-3, entitled "Clean Water — Life Depends on It!") are equally applicable to groundwater.

The natural quality of groundwater differs from surface water in that

(a) for any given source, its quality, temperature and other parameters are less variable over the course of time and
(b) in nature, the range of groundwater parameters encountered is much larger than for surface water, e.g., total dissolved solids can range from 25 mg/L in some places in the Canadian Shield to 300 000 mg/L in some deep saline waters in the Interior Plains.

At any given location, groundwater tends to be harder and more saline than surface water, but this is by no means a universal rule. It is also generally the case that groundwater becomes more saline with increasing depth, but again, there are many exceptions.

Leaking underground storage tanks and piping

Leaks of petroleum products have been increasing over the last two decades because underground steel tanks installed in large numbers in the 1950s and 1960s have become corroded. Before 1960, most underground tanks were made of steel. Without adequate corrosion protection, up to half of them leak by the time they are 15 years old.

Groundwater dissolves many different compounds, and most of these substances have the potential to contaminate large quantities of water. For example, one litre of gasoline can contaminate one million litres of groundwater. This problem is particularly severe in the Atlantic provinces where there is a high usage of groundwater. In many cases, the problem is noticed long after the aquifer is contaminated, for example, when consumers start tasting or smelling gasoline.

Figure 9

Sources of contamination that can cause groundwater contamination

Point sources

On-site septic systems

Leaky tanks or pipelines containing petroleum products

Leaks or spills of industrial chemicals at manufacturing facilities

Underground injection wells (industrial waste)

Municipal landfills

Livestock wastes

Leaky sewer lines

Chemicals used at wood preservation facilities

Mill tailings in mining areas

Fly ash from coal-fired power plants

Sludge disposal areas at petroleum refineries

Land spreading of sewage or sewage sludge

Graveyards

Road salt storage areas

Wells for disposal of liquid wastes

Runoff of salt and other chemicals from roads and highways

Spills related to highway or railway accidents

Coal tar at old coal gasification sites

Asphalt production and equipment cleaning sites

Non-point (distributed) sources

Fertilizers on agricultural land

Pesticides on agricultural land and forests

Contaminants in rain, snow, and dry atmospheric fallout

Source: Adapted from Cherry, p. 395.

As groundwater flows through an aquifer it is naturally filtered. This filtering, combined with the long residence time underground, means that groundwater is usually free from disease-causing microorganisms. A source of contamination close to a well, however, can defeat these natural safeguards. Natural filtering also means that groundwater usually contains less suspended material and undissolved solids than surface water.

DNAPLs

A type of contaminant that is especially troublesome is the group of chemicals known as *dense nonaqueous phase liquids, or DNAPLs*. These include chemicals used in dry cleaning, wood preservation, asphalt operations, machining, and in the production and repair of automobiles, aviation equipment, munitions, and electrical equipment. They can also be generated and released in accidents, e.g., the Hagersville "tire fire." These substances are heavier than water and they sink quickly into the ground. This makes spills of DNAPLs more difficult to handle than spills of petroleum products. As with petroleum products, the problems are caused by groundwater dissolving some of the compounds in these volatile substances. These compounds can then move with the groundwater flow. Except in large cities, drinking water is rarely tested for these contaminants.

How we contaminate groundwater

Any addition of undesirable substances to groundwater caused by human activities is considered to be *contamination*. It has often been assumed that contaminants left on or under the ground will stay there. This has been shown to be wishful thinking. Groundwater often spreads the effects of dumps and spills far beyond the site of the original contamination (Figure 8). Groundwater contamination is extremely difficult, and sometimes impossible, to clean up.

Groundwater contaminants come from two categories of sources: *point sources* and distributed, or *non-point sources* (Figure 9). Landfills, leaking gasoline storage tanks, leaking septic tanks, and accidental spills are examples of point sources. Infiltration from farm land treated with pesticides and fertilizers is an example of a non-point source.

Among the more significant point sources are municipal landfills and industrial waste disposal sites. When either of these occur in or near sand and gravel aquifers, the potential for widespread contamination is the greatest.

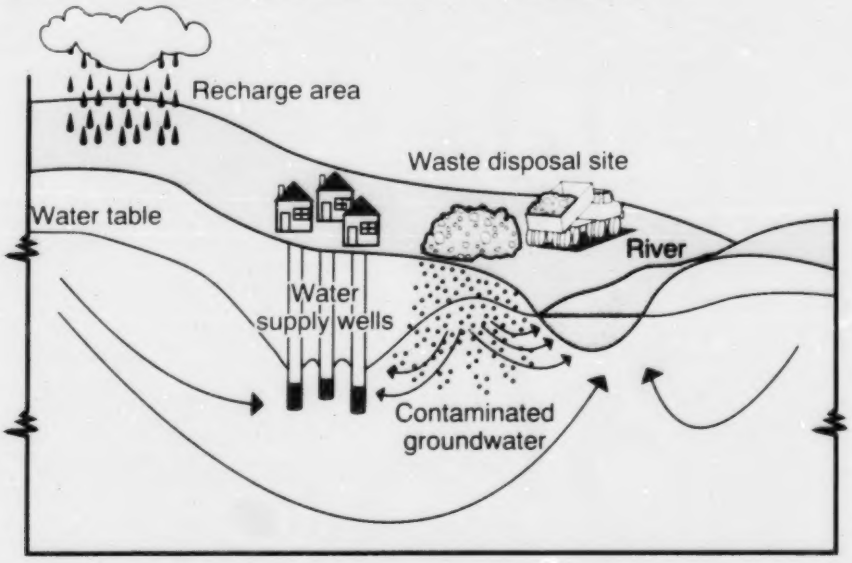
In Ville Mercier, Quebec, for example, the disposal of industrial wastes into lagoons in an old gravel pit over many years rendered the water supplies of thousands of residents in the region unusable. Water had to be pumped from a well 10 kilometres away to replace the area's supply.

Other point sources are individually less significant, but they occur in large numbers all across the country. Some of these dangerous and widespread sources of contamination are septic tanks, leaks and spills of petroleum products and of dense industrial organic liquids.

Septic systems are designed so that some of the sewage is degraded in the tank and some is degraded and absorbed by the surrounding sand and subsoil.

Figure 8

Groundwater contamination from a waste disposal site



Scientists assess *water quality* by measuring the amounts of the various constituents contained in the water. These amounts are often expressed as milligrams per litre (mg/L), which is equivalent to the number of grams of a substance per million grams of water.

The suitability of water for a given use depends on many factors such as hardness, salinity and pH. Acceptable values for each of these parameters for any given use depend on the use, not on the source of the water, so that the considerations important for surface water (as mentioned in Freshwater Series No. A-3, entitled "Clean Water — Life Depends on It!") are equally applicable to groundwater.

The natural quality of groundwater differs from surface water in that

(a) for any given source, its quality, temperature and other parameters are less variable over the course of time and
(b) in nature, the range of groundwater parameters encountered is much larger than for surface water, e.g., total dissolved solids can range from 25 mg/L in some places in the Canadian Shield to 300 000 mg/L in some deep saline waters in the Interior Plains.

At any given location, groundwater tends to be harder and more saline than surface water, but this is by no means a universal rule. It is also generally the case that groundwater becomes more saline with increasing depth, but again, there are many exceptions.

Leaking underground storage tanks and piping

Leaks of petroleum products have been increasing over the last two decades because underground steel tanks installed in large numbers in the 1950s and 1960s have become corroded. Before 1980, most underground tanks were made of steel. Without adequate corrosion protection, up to half of them leak by the time they are 15 years old.

Groundwater dissolves many different compounds, and most of these substances have the potential to contaminate large quantities of water. For example, one litre of gasoline can contaminate one million litres of groundwater. This problem is particularly severe in the Atlantic provinces where there is a high usage of groundwater. In many cases, the problem is noticed long after the aquifer is contaminated, for example, when consumers start tasting or smelling gasoline.

Figure 9

Sources of contamination that can cause groundwater contamination

Point sources

On-site septic systems

Leaky tanks or pipelines containing petroleum products

Leaks or spills of industrial chemicals at manufacturing facilities

Underground injection wells (industrial waste)

Municipal landfills

Livestock wastes

Leaky sewer lines

Chemicals used at wood preservation facilities

Mill tailings in mining areas

Fly ash from coal-fired power plants

Sludge disposal areas at petroleum refineries

Land spreading of sewage or sewage sludge

Graveyards

Road salt storage areas

Wells for disposal of liquid wastes

Runoff of salt and other chemicals from roads and highways

Spills related to highway or railway accidents

Coal tar at old coal gasification sites

Asphalt production and equipment cleaning sites

Non-point (distributed) sources

Fertilizers on agricultural land

Pesticides on agricultural land and forests

Contaminants in rain, snow, and dry atmospheric fallout

Source: Adapted from Cherry, p. 395

As groundwater flows through an aquifer it is naturally filtered. This filtering, combined with the long residence time underground, means that groundwater is usually free from disease-causing microorganisms. A source of contamination close to a well, however, can defeat these natural safeguards. Natural filtering also means that groundwater usually contains less suspended material and undissolved solids than surface water.

DNAPLs

A type of contaminant that is especially troublesome is the group of chemicals known as *dense nonaqueous phase liquids, or DNAPLs*. These include chemicals used in dry cleaning, wood preservation, asphalt operations, machining, and in the production and repair of automobiles, aviation equipment, munitions, and electrical equipment. They can also be generated and released in accidents, e.g., the Hagersville "tire fire." These substances are heavier than water and they sink quickly into the ground. This makes spills of DNAPLs more difficult to handle than spills of petroleum products. As with petroleum products, the problems are caused by groundwater dissolving some of the compounds in these volatile substances. These compounds can then move with the groundwater flow. Except in large cities, drinking water is rarely tested for these contaminants.

How we contaminate groundwater

Any addition of undesirable substances to ground water caused by human activities is considered to be *contamination*. It has often been assumed that contaminants left on or under the ground will stay there. This has been shown to be wishful thinking. Groundwater often spreads the effects of dumps and spills far beyond the site of the original contamination (Figure 8). Groundwater contamination is extremely difficult, and sometimes impossible, to clean up.

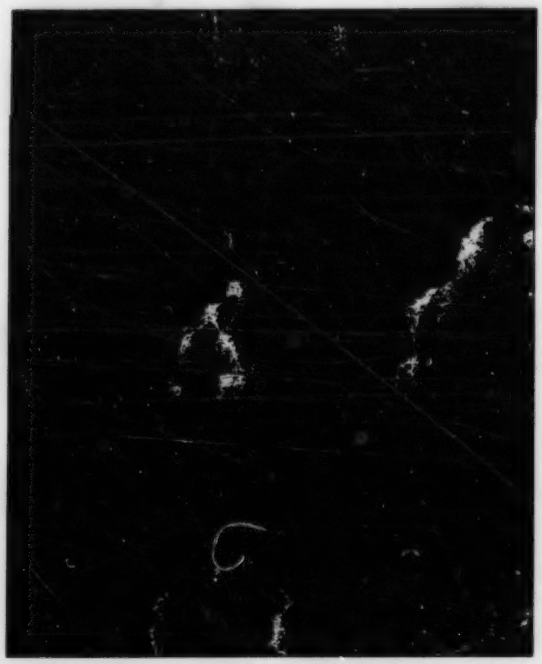
Groundwater contaminants come from two categories of sources: *point sources* and distributed, or *non-point sources* (Figure 9). Landfills, leaking gasoline storage tanks, leaking septic tanks, and accidental spills are examples of point sources. Infiltration from farm land treated with pesticides and fertilizers is an example of a non-point source.

Among the more significant point sources are municipal landfills and industrial waste disposal sites. When either of these occur in or near sand and gravel aquifers, the potential for widespread contamination is the greatest.

In Ville Mercier, Quebec, for example, the disposal of industrial wastes into lagoons in an old gravel pit over many years rendered the water supplies of thousands of residents in the region unusable. Water had to be pumped from a well 10 kilometres away to replace the area's supply.

Other point sources are individually less significant, but they occur in large numbers all across the country. Some of these dangerous and widespread sources of contamination are septic tanks, leaks and spills of petroleum products and of dense industrial organic liquids.

Septic systems are designed so that some of the sewage is degraded in the tank and some is degraded and absorbed by the surrounding sand and subsoil.



Springs along the roadside — Revelstoke, British Columbia.

(Courtesy of Joachim Moenig)

Contaminants that may enter groundwater from septic systems include bacteria, viruses, detergents, and household cleaners. These can create serious contamination problems. Despite the fact that septic tanks and cesspools are known sources of contaminants, they are poorly monitored and very little studied.

Contamination can render groundwater unsuitable for use. Although the overall extent of the problem across Canada is unknown, many individual cases of contamination have been investigated such as Ville Mercier in Quebec; the highway de-icing salt problem in Nova Scotia; industrial effluents in Elmira, Ontario; various pesticides in the Prairie provinces; industrial contamination in Vancouver, British Columbia; and so on. In many cases, contamination is recognized only after groundwater users have been exposed to potential health risks. The cost of cleaning up contaminated water supplies is usually extremely high.

Contamination problems are increasing in Canada primarily because of the large and growing number of toxic compounds used in industry and agriculture. In rural Canada, scientists suspect that many household wells are contaminated by substances from such common sources as septic systems, underground tanks, used motor oil, road salt, fertilizer, pesticides, and livestock wastes. Scientists also predict that in the next few decades more contaminated aquifers will be discovered, new contaminants will be identified, and more contaminated groundwater will be discharged into wetlands, streams and lakes.

Once an aquifer is contaminated, it may be unusable for decades. The residence time, as noted earlier, can be anywhere from two weeks or 10 000 years.

Furthermore, the effects of groundwater contamination do not end with the loss of well-water supplies. Several studies have documented the migration of contaminants from disposal or spill sites to nearby lakes and rivers as this groundwater passes through the hydrologic cycle, but the processes are not as yet well understood. In Canada, pollution of surface water by groundwater is probably at least as serious as the contamination of groundwater supplies. Preventing contamination in the first place is by far the most practical solution to the problem. This can be accomplished by the adoption of effective groundwater management practices by governments, industries and all Canadians. Although progress is being made in this direction, efforts are hampered by a serious shortage of groundwater experts and a general lack of knowledge about how groundwater behaves.

Groundwater and engineering

Groundwater can also have dramatic implications for engineering and geotechnical studies. The study of groundwater is essential for engineers who construct dams, tunnels, water conveyance channels, mines, and other structures. Groundwater must be considered whenever the stability of slopes is important, whether the slope is natural or constructed. Groundwater must also be taken into account when devising measures to control flooding. In all of these situations, groundwater flow and fluid pressure can create serious *geotechnical problems.*

Groundwater, for example, may create structural weaknesses in dams, or it may flow underground right around the structure as it did at the Jerome Dam in Idaho. Water flowed so efficiently through the rock formations surrounding the reservoir that the dam would hold no water, even though it was structurally sound.

In another case, when geological exploration was being carried out in preparation for the construction of the Revelstoke Dam in British Columbia, geologists and engineers were concerned about an old landslide on the bank of the proposed reservoir. They suspected that the water held in the reservoir could increase groundwater pressures enough to make the slide unstable. The solution was to increase drainage around the slide to ensure that groundwater pressures did not increase. In 1963, these same conditions at the Vaiont reservoir in Italy caused a slide which killed 2500 people.

Vegetation in gullies is fed by groundwater discharge — Blackstrap Lake, Saskatchewan.

(Courtesy of J.A. Gilliland)

Other problems result from the excessive use of groundwater. *Overdrafting* occurs when people draw water out of an aquifer faster than nature can replenish it. The most obvious problem created is a shortage of water. Overdrafting, however, can also create significant geotechnical problems. Although not an issue in Canada, at many locations around the world overdrafting has caused *land subsidence*. This can produce severe engineering difficulties. Parts of Mexico City, for instance, have subsided as much as 10 metres in the past 70 years, resulting in a host of problems in its water supply and sewerage system. Land subsidence may also occur when the water table is lowered by drainage. In the early 1970s, for example, an entire residential subdivision in Ottawa subsided when a collector sewer was constructed nearby. The subsidence seriously damaged the residents' property.

Safeguarding our groundwater supply

Groundwater is an essential resource. It exists everywhere under the Canadian landscape and is vitally connected to our rich surface water resources.

Contamination of groundwater is a serious problem in Canada. Industrial and agricultural activities are major sources of contaminants, but Canadian households are equally important sources.

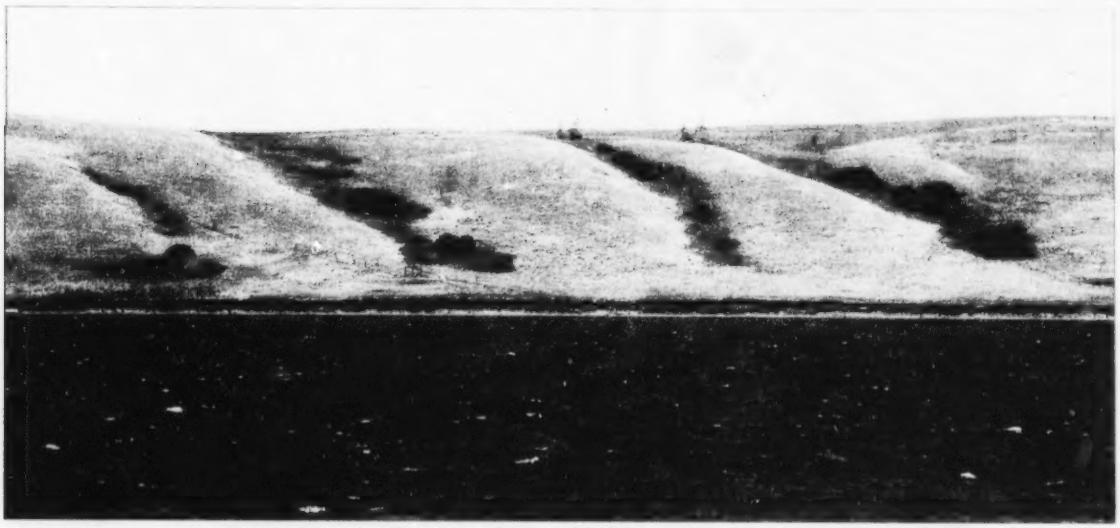
Groundwater moves so slowly that problems take a long time to appear. Because of this, and because it is so expensive to clean up a contaminated aquifer (if it can be done at all), it is preferable by far to prevent contamination from happening in the first place. For example, leaking underground storage tanks can be replaced by tanks that will not corrode; landfills can be sited in locations where leachates will not contaminate underlying groundwater; and the impacts of spills of hazardous materials reduced by restricting access to recharge areas.

All levels of government in Canada are starting to take some of the actions necessary to protect our groundwater supplies, but there is a long way to go before these measures are fully effective. At the same time, universities and government research institutes are investigating what happens to water underground and what can be done to preserve it and even improve its availability to us. Both as a society and as individuals, we must keep in mind groundwater's susceptibility to contamination.

Groundwater is just as important as the sparkling lakes and rivers of our postcard image of Canada. This national treasure may be "hidden," but it must not be forgotten.

Groundwater and Wetlands

Wetlands, which provide a summer home to nearly all of North America's 45 million ducks and other waterfowl, often have very close connections with the groundwater system. Some wetlands, e.g., potholes in higher ground, may serve as important groundwater recharge areas. Others, especially those in low-lying areas, may be the receptors for significant amounts of groundwater discharge. Therefore, if the underlying groundwater is contaminated, detrimental consequences will be felt by the wildlife and all other resources dependent on that wetland.



Vegetation in gullies is fed by groundwater discharge — Blackstrap Lake, Saskatchewan

(Courtesy of J.A. Gilliland)

Other problems result from the excessive use of groundwater. *Overdrafting* occurs when people draw water out of an aquifer faster than nature can replenish it. The most obvious problem created is a shortage of water. Overdrafting, however, can also create significant geotechnical problems. Although not an issue in Canada, at many locations around the world overdrafting has caused *land subsidence*. This can produce severe engineering difficulties. Parts of Mexico City, for instance, have subsided as much as 10 metres in the past 70 years, resulting in a host of problems in its water supply and sewerage system. Land subsidence may also occur when the water table is lowered by drainage. In the early 1970s, for example, an entire residential subdivision in Ottawa subsided when a collector sewer was constructed nearby. The subsidence seriously damaged the residents' property.

Safeguarding our groundwater supply

Groundwater is an essential resource. It exists everywhere under the Canadian landscape and is vitally connected to our rich surface water resources.

Contamination of groundwater is a serious problem in Canada. Industrial and agricultural activities are major sources of contaminants, but Canadian households are equally important sources.

Groundwater moves so slowly that problems take a long time to appear. Because of this, and because it is so expensive to clean up a contaminated aquifer (if it can be done at all), it is preferable by far to prevent contamination from happening in the first place. For example, leaking underground storage tanks can be replaced by tanks that will not corrode; landfills can be sited in locations where leachates will not contaminate underlying groundwater; and the impacts of spills of hazardous materials reduced by restricting access to recharge areas.

All levels of government in Canada are starting to take some of the actions necessary to protect our groundwater supplies, but there is a long way to go before these measures are fully effective. At the same time, universities and government research institutes are investigating what happens to water underground and what can be done to preserve it and even improve its availability to us. Both as a society and as individuals, we must keep in mind groundwater's susceptibility to contamination.

Groundwater is just as important as the sparkling lakes and rivers of our postcard image of Canada. This national treasure may be "hidden", but it must not be forgotten.

Groundwater and Wetlands

Wetlands, which provide a summer home to nearly all of North America's 45 million ducks and other waterfowl, often have very close connections with the groundwater system. Some wetlands, e.g., potholes in higher ground, may serve as important groundwater recharge areas. Others, especially those in low-lying areas, may be the receptors for significant amounts of groundwater discharge. Therefore, if the underlying groundwater is contaminated, detrimental consequences will be felt by the wildlife and all other resources dependent on that wetland.

Bibliography

American Chemical Society. Ground Water Information Pamphlet. American Chemical Society, Department of Public Affairs: Washington, 1983. 14 pp.

American Institute of Professional Geologists. *Ground Water: Issues and Answers.* American Institute of Professional Geologists: Arvado, Colo., 1986. 24 pp.

Bowen, Robert. *Groundwater.* Elsevier Applied Science Publishers: London, U.K., 1986. 427 pp.

Cherry, John A. "Groundwater Occurrence and Contamination in Canada." In M.C. Healey and R.R. Wallace, *Canadian Aquatic Resources,* eds., Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Sciences 215: 387-426. Department of Fisheries and Oceans: Ottawa, 1987.

Coon, David, and Janice Harvey. *The Groundwater Pollution Primer.* Conservation Council, Fredericton, N.B., July 1987. 44 pp.

Federal-Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health. *Guidelines for Canadian Drinking Water Quality,* 4th ed., Health and Welfare Canada: Ottawa, 1989. 25 pp.

Freeze, R. Allen, and John A. Cherry. *Groundwater.* Prentice-Hall: Englewood Cliffs N.J., 1979. 604 pp.

Hess, Paul J. *Ground-Water Use in Canada, 1981.* National Hydrology Research Institute: Ottawa, 1986. NHRI Paper No. 28, IWD Technical Bulletin No. 140. 43 pp.

Johnston, L.M., and J.A. Gilliland. "Ground Water — Why Worry?" Unpublished Report, National Hydrology Research Institute, Saskatoon, Sask., 1987. NHRI Contribution No. 87008.

Keating, Michael. *To the Last Drop: Canada and the World's Water Crisis.* MacMillan: Toronto, 1986. 265 pp.

Laycock, A.H. "The Amount of Canadian Water and Its Distribution." In M.C. Healey and R.R. Wallace, *Canadian Aquatic Resources,* eds., Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Sciences 215: 13-42. Department of Fisheries and Oceans: Ottawa, 1987.

McNeely, R.N., V.P. Neimanis, and L. Dwyer. *Water Quality Sourcebook: A Guide to Water Quality Parameters.* Inland Waters Directorate, Water Quality Branch: Ottawa, 1979. 89 pp.

Price, Michael. *Introducing Groundwater.* George Allen & Unwin: London, U.K., 1985. 195 pp.

Speidel, David H., L.C. Ruedisili,and A.F. Agnew. *Perspectives on Water, Uses and Abuses.* Oxford University Press: New York, N.Y., 1988.

Todd, David Keith. *Groundwater Hydrology.* 2nd ed. John Wiley & Sons: New York, 1980. 535 pp.

U.S. Environmental Protection Agency. *EPA Ground Water Handbook.* Government Institutes, Inc.: Rockville, Md., 1989. 212 pp.

Diving beneath the surface

The objective of the Freshwater Series is to provide a basic understanding of the issues and concerns that relate to water in Canada. For more information please write or call the Environment Canada office nearest you or:

Enquiry Centre
Environment Canada
Ottawa, Ontario
K1A 0H3

Tel.: (819) 997-2800
Toll Free: 1-800-668-6767
Fax: (819) 953-2225

Disponible en français sur demande

This material may be reproduced for educational purposes; a line crediting Environment Canada would be appreciated.

Reprinted March 1999

Printed
on paper
that contains
recovered waste

Design by Ove Design Group, Ottawa

Published by authority of the Minister of the Environment
©Public Works and Government Services, Canada, 1999
Cat. No. En 37-81/5-1999E
ISBN 0-662-18152-2

Environnement Canada Environment Canada

Ecocivisme

Les eaux souterraines – trésors cachés de la nature

Ce qui descend doit remonter

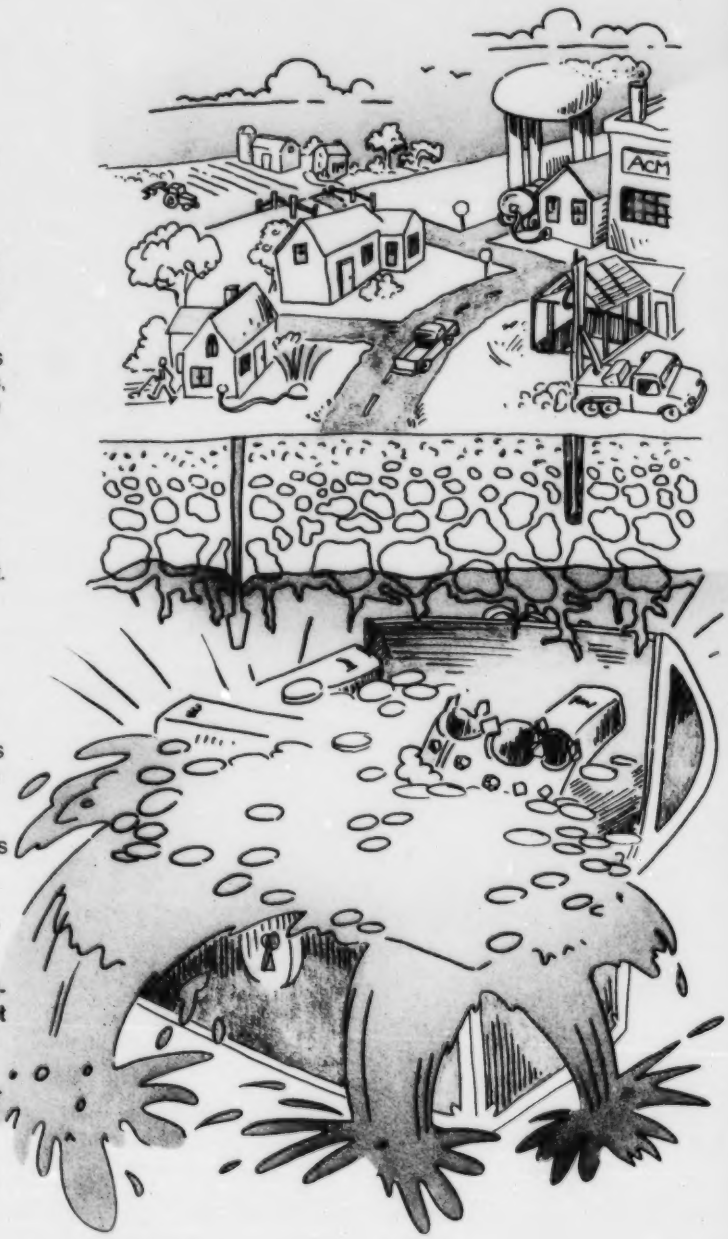
Les eaux souterraines sont une ressource essentielle et vitale pour près d'un quart des Canadiens. Elles sont leur seule source d'eau potable et ménagère, agricole et industrielle, et assurent en fait tous leurs besoins quotidiens en eau. Pourtant, pour la majorité des Canadiens, ceux qui n'en sont pas tributaires, les eaux souterraines sont une ressource cachée dont la valeur n'est pas bien comprise ou appréciées.

Notre image du Canada est un pays de lacs, de cours d'eau et de glaciers étincelants. Les eaux souterraines, omniprésentes dans le sous-sol, ne font pas partie de ce tableau. Il n'est donc pas surprenant que les préoccupations des Canadiens au sujet de la qualité de l'eau se focalisent surtout sur les eaux de surface — nos lacs et nos cours d'eau. Les ressources en eau souterraine, moins visibles, mais d'une égale importance, ont suscité moins d'intérêt chez le public, sauf dans les régions du Canada où les gens en dépendent.

Il faut assurer la protection des eaux souterraines

Au cours des dernières années, il apparaît toutefois que plusieurs événements concernant la qualité des eaux souterraines ont contribué à sensibiliser davantage le public à l'importance et à la vulnérabilité de ces ressources. Les reportages et les articles des médias sur la contamination de puits par des fuites de réservoirs d'essence ou de solvants de nettoyage à sec et au sujet des effets du lessivage chimique de décharges ou de lieux d'élimination des déchets industriels ont suscité, chez le public, des préoccupations relatives à la qualité des eaux souterraines. Au début de 1990, l'infiltration chimique, causée par l'incendie des pneus à Hagersville, en Ontario, a menacé de polluer les réserves d'eau souterraine dans cette région. Les articles de journaux ont alerté les résidents de la région et ont contribué à capter l'attention sur le problème de la pollution des eaux souterraines.

Même aux endroits où nous ne pourrions pas l'utiliser directement comme réserve d'eau potable, nous devons néanmoins protéger l'eau souterraine, car elle acheminera les contaminants et polluants des terres vers les lacs et les cours d'eau d'où d'autres personnes prélèvent un fort pourcentage de leurs réserves d'eau douce.



M121

IMPORTANT NOTE CONCERNING THE FOLLOWING PAGES

THE PAGES WHICH FOLLOW HAVE BEEN FILMED TWICE IN ORDER TO OBTAIN THE BEST REPRODUCTIVE QUALITY

USERS SHOULD CONSULT ALL THE PAGES REPRODUCED ON THE FICHE IN ORDER TO OBTAIN A COMPLETE READING OF THE TEXT.

REMARQUE IMPORTANTE CONCERNANT LES PAGES QUI SUIVENT

LES PAGES SUIVANTES ONT ÉTÉ REPRODUITES EN DOUBLE AFIN D'AMÉLIORER LA QUALITÉ DE REPRODUCTION

LES UTILISATEURS DOIVENT CONSULTER TOUTES LES PAGES REPRODUITES SUR LA FICHE AFIN D'OBTENIR LA LECTURE DU TEXTE INTÉGRAL

Micromedia
ProQuest

20 Victoria Street
Toronto, Ontario M5C 2N8
Tel.: (416) 362-5211
Toll Free: 1-800-387-2689
Fax: (416) 362-6161
Email: info@micromedia.on.ca

Eau souterraine et géologie

L'eau souterraine est également un élément important, mise à part sa valeur comme ressource ou son lien étroit avec les réserves d'eau de surface. Les ingénieurs doivent tenir compte de l'eau souterraine dans la planification de tout ouvrage, que ce soit au-dessus ou au-dessous du sol. Ignorer l'effet de l'eau souterraine sur la stabilité de la pente peut se révéler à la fois coûteux et dangereux. Les géologues considèrent l'eau souterraine comme une force majeure dans les changements géologiques. Les pressions de fluide exercées par l'eau souterraine, par exemple, jouent un rôle important dans l'apparition des tremblements de terre. Les géologues savent également que le déplacement de l'eau à travers les formations géologiques souterraines détermine la migration et l'accumulation de pétrole ainsi que la formation de certains dépôts de minerai.

Qu'est-ce que l'eau souterraine?

On croit parfois que l'eau s'écoule par des cours d'eau souterrains ou qu'elle se rassemble dans des lacs souterrains. L'eau souterraine n'est pas seulement confinée à quelques canaux ou dépressions de la même façon que l'eau de surface se concentre dans des cours d'eau et des lacs. Au contraire, elle est presque omniprésente dans le sous-sol. On la trouve dans les interstices des particules de roches et de sol, ou dans les crevasses et fissures des roches (figure 1). L'eau qui remplit ces cavités se situe généralement dans les 100 mètres de la surface. C'est là que réside une grande partie de l'eau douce de la terre. A de plus grandes profondeurs, ces cavités sont beaucoup plus petites en raison du poids de la roche de recouvrement et, par conséquent, elles contiennent des quantités d'eau beaucoup moindres.

L'eau souterraine coule lentement à travers des formations aquifères (aquifères) à différents débits. A certains endroits, où elle a dissous le calcaire pour former des cavernes et de grandes ouvertures, son débit peut être relativement rapide, mais ceci est toutefois exceptionnel.

De nombreux termes sont utilisés pour décrire la nature et l'étendue des ressources en eau souterraine (figure 2). Le niveau au-dessous duquel tous les interstices sont remplis d'eau s'appelle la *surface de saturation*. Au-dessus de cette surface se trouve la *zone d'aération*. Ici, les espaces dans la roche et le sol contiennent à la fois de l'air et de l'eau. L'eau dans cette zone s'appelle l'*humidité du sol*. Toute la région au-dessous de la surface de saturation est dénommée *zone de saturation*, et l'eau de cette zone est l'*eau souterraine*.

Qu'est ce qu'un aquifère?

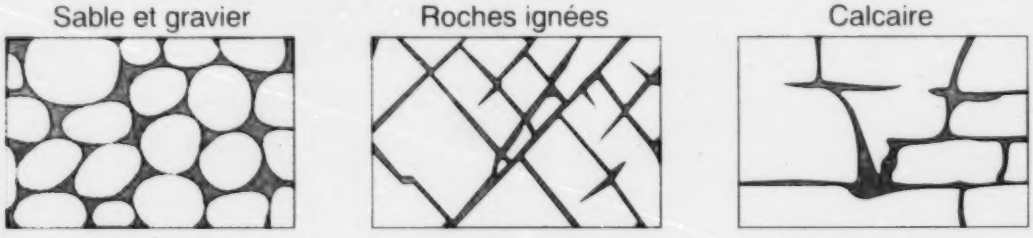
Bien que l'eau souterraine existe partout dans le sous-sol, certaines parties de la zone de saturation contiennent plus d'eau que d'autres. Un *aquifère* est une formation souterraine de roche perméable ou de matériau meuble qui peut produire des quantités utiles d'eau lorsqu'elles sont captées par un puits. Les aquifères existent dans toutes les dimensions. Ils peuvent être petits, ne couvrant que quelques hectares de superficie, ou très grands, sous-jacents à des milliers de kilomètres carrés de surface terrestre. Ils peuvent avoir seulement quelques mètres d'épaisseur ou mesurer des centaines de mètres du haut vers le bas.

L'eau souterraine — en mouvement perpétuel

Les matériaux *perméables* contiennent des fissures ou des espaces interreliés qui sont suffisamment nombreux et grands pour laisser l'eau circuler librement. Dans certains matériaux perméables, l'eau souterraine peut se déplacer sur plusieurs mètres en une journée; en d'autres endroits, elle ne se déplace que de quelques centimètres en un siècle. L'eau souterraine ne circule que très lentement dans des matériaux relativement *imperméables* comme l'argile et les schistes.

Figure 1

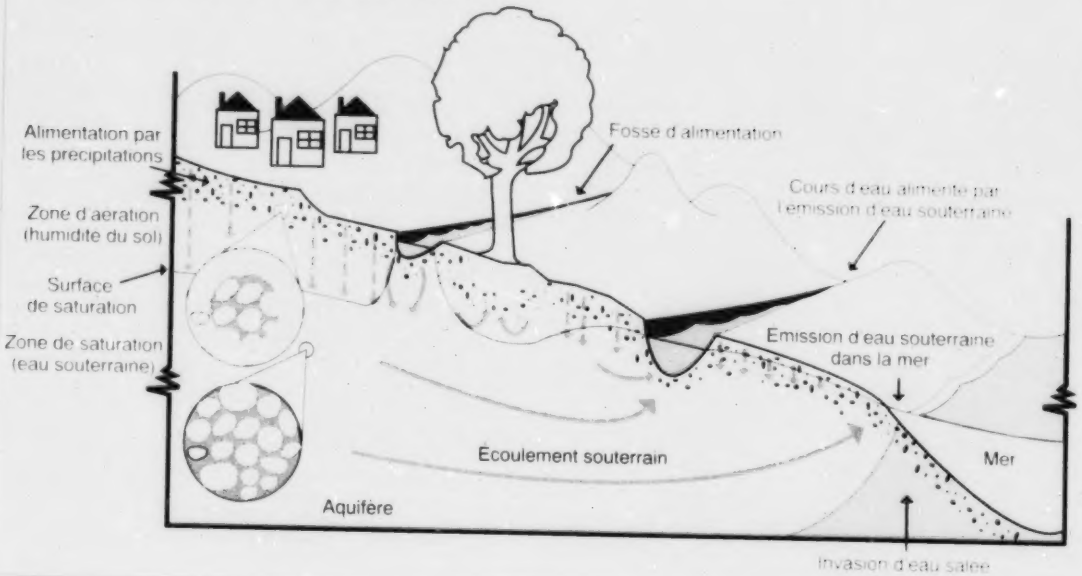
Principaux types de porosité



Où peut-on on trouver de l'eau souterraine? L'eau occupe les interstices des grains de sable, les fissures des roches et les vides de dissolution.

Figure 2

Écoulement de l'eau souterraine



Les spécialistes des eaux souterraines distinguent généralement deux types d'aquifères en fonction des attributs physiques de ces derniers : les milieux poreux et les aquifères fissurés.

Les *milieux poreux* sont des aquifères composés d'agrégats de particules distinctes comme le sable et le gravier. L'eau souterraine occupe les vides interstitiels des grains à travers lesquels elle circule. Les milieux poreux où les grains ne sont pas reliés l'un à l'autre sont considérés comme *meubles*. Si les grains sont cimentés les uns aux autres, ces aquifères sont dits *consolidés*. Les grès sont des exemples de milieux poreux consolidés.

Les *aquifères fissurés* sont des roches dans lesquelles l'eau souterraine circule à travers des fissures, des joints ou des fractures dans une roche par ailleurs solides. Le granite et le basalte en constituent des exemples. Les calcaires sont souvent des aquifères fissurés, mais, ici, les fissures et les fractures peuvent être agrandies par dissolution, formant de grands chenaux ou même des cavernes. Un terrain calcaire où la dissolution a été très active s'appelle le *karst*. Les milieux poreux comme le grès peuvent présenter un degré si élevé de cimentation ou de recristallisation que tous les espaces originaux sont remplis. Dans ce cas, la roche n'est plus un milieu poreux. Toutefois, si elle contient des fissures, elle peut encore assurer la fonction d'un aquifère fissuré.

La plupart des aquifères qui revêtent un intérêt pour nous sont des milieux poreux meubles comme le sable et le gravier. Certains matériaux très poreux ne sont pas perméables. L'argile, par exemple, comporte de nombreux interstices entre ses grains, mais ces vides interstitiels ne sont pas assez grands pour permettre le libre passage de l'eau.

L'eau souterraine, source d'énergie

L'eau souterraine peut être utilisée comme source de chaleur. Les thermopompes utilisant l'eau souterraine offrent une solution de plus en plus remarquée pour les systèmes de chauffage et de climatisation à haut rendement énergétique dans les installations commerciales et résidentielles. Bien que les coûts initiaux soient plus élevés que ceux des systèmes à air — en raison des coûts supplémentaires des installations souterraines — le rendement énergétique supérieur des systèmes souterrains les rend de plus en plus attrayants.

La recherche sur l'utilisation de l'eau géothermique a été menée dans plusieurs institutions dans tout le Canada. La ville de Moose Jaw met au point un système de chauffage géothermique pour une piscine publique et une installation de loisirs. *Carleton University*, à Ottawa, utilise déjà l'eau souterraine pour chauffer et climatiser ses bâtiments. À Springhill, en Nouvelle-Écosse, un système pilote de chauffage géothermique est en cours d'évaluation.

L'eau souterraine coule généralement vers le bas, dans le sens de la pente de la surface de saturation. Comme l'eau de surface, l'eau souterraine s'écoule vers les cours d'eau, les lacs et les océans pour éventuellement les rejoindre. L'écoulement de l'eau souterraine dans les aquifères sous-jacents aux bassins versants de surface ne reflète pas toujours l'écoulement de l'eau à la surface. En conséquence, l'eau souterraine peut se déplacer dans des directions différentes de celles de l'écoulement de surface.

Eau souterraine et géologie

L'eau souterraine est également un élément important, mise à part sa valeur comme ressource ou son lien étroit avec les réserves d'eau de surface. Les ingénieurs doivent tenir compte de l'eau souterraine dans la planification de tout ouvrage, que ce soit au-dessus ou au-dessous du sol. Ignorer l'effet de l'eau souterraine sur la stabilité de la pente peut se révéler à la fois coûteux et dangereux. Les géologues considèrent l'eau souterraine comme une force majeure dans les changements géologiques. Les pressions de fluide exercées par l'eau souterraine, par exemple, jouent un rôle important dans l'apparition des tremblements de terre. Les géologues savent également que le déplacement de l'eau à travers les formations géologiques souterraines détermine la migration et l'accumulation de pétrole ainsi que la formation de certains dépôts de minerai.

Qu'est-ce que l'eau souterraine?

On croit parfois que l'eau s'écoule par des cours d'eau souterrains ou qu'elle se rassemble dans des lacs souterrains. L'eau souterraine n'est pas seulement confinée à quelques canaux ou dépressions de la même façon que l'eau de surface se concentre dans des cours d'eau et des lacs. Au contraire, elle est presque omniprésente dans le sous-sol. On la trouve dans les interstices des particules de roches et de sol, ou dans les crevasses et fissures des roches (figure 1). L'eau qui remplit ces cavités se situe généralement dans les 100 mètres de la surface. C'est là que réside une grande partie de l'eau douce de la terre. À de plus grandes profondeurs, ces cavités sont beaucoup plus petites en raison du poids de la roche de recouvrement et, par conséquent, elles contiennent des quantités d'eau beaucoup moindres.

L'eau souterraine coule lentement à travers des formations aquifères (aquifères) à différents débits. À certains endroits, où elle a dissous le calcaire pour former des cavernes et de grandes ouvertures, son débit peut être relativement rapide, mais ceci est toutefois exceptionnel.

De nombreux termes sont utilisés pour décrire la nature et l'étendue des ressources en eau souterraine (figure 2). Le niveau au-dessous duquel tous les interstices sont remplis d'eau s'appelle la *surface de saturation.* Au-dessus de cette surface se trouve la *zone d'aération.* Ici, les espaces dans la roche et le sol contiennent à la fois de l'air et de l'eau. L'eau dans cette zone s'appelle l'*humidité du sol.* Toute la région au-dessous de la surface de saturation est dénommée *zone de saturation,* et l'eau de cette zone est l'*eau souterraine.*

Qu'est ce qu'un aquifère?

Bien que l'eau souterraine existe partout dans le sous-sol, certaines parties de la zone de saturation contiennent plus d'eau que d'autres. Un *aquifère* est une formation souterraine de roche perméable ou de matériau meuble qui peut produire des quantités utiles d'eau lorsqu'elles sont captées par un puits. Les aquifères existent dans toutes les dimensions. Ils peuvent être petits, ne couvrant que quelques hectares de superficie, ou très grands, sous-jacents à des milliers de kilomètres carrés de surface terrestre. Ils peuvent avoir seulement quelques mètres d'épaisseur ou mesurer des centaines de mètres du haut vers le bas.

L'eau souterraine — en mouvement perpétuel

Les matériaux *perméables* contiennent des fissures ou des espaces interreliés qui sont suffisamment nombreux et grands pour laisser l'eau circuler librement. Dans certains matériaux perméables, l'eau souterraine peut se déplacer sur plusieurs mètres en une journée; en d'autres endroits, elle ne se déplace que de quelques centimètres en un siècle. L'eau souterraine ne circule que très lentement dans des matériaux relativement *imperméables* comme l'argile et les schistes.

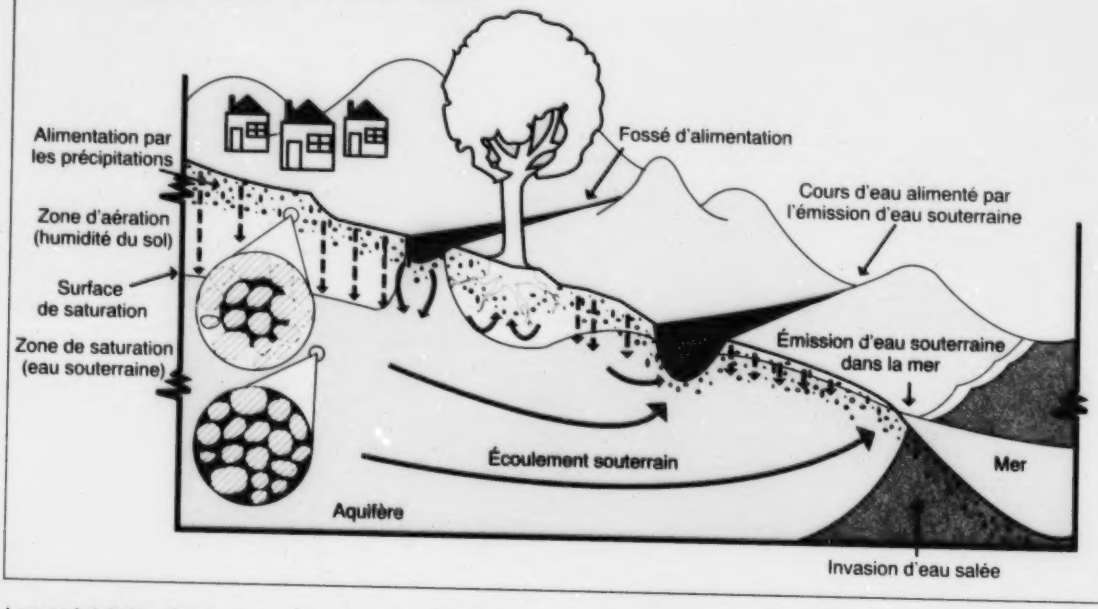
Figure 1

Principaux types de porosité

Où peut-on on trouver de l'eau souterraine? L'eau occupe les interstices des grains de sable, les fissures des roches et les vides de dissolution.

Figure 2

Écoulement de l'eau souterraine



Les spécialistes des eaux souterraines distinguent généralement deux types d'aquifères en fonction des attributs physiques de ces derniers : les milieux poreux et les aquifères fissurés.

Les *milieux poreux* sont des aquifères composés d'agrégats de particules distinctes comme le sable et le gravier. L'eau souterraine occupe les vides interstitiels des grains à travers lesquels elle circule. Les milieux poreux où les grains ne sont pas reliés l'un à l'autre sont considérés comme *meubles*. Si les grains sont cimentés les uns aux autres, ces aquifères sont dits *consolidés*. Les grès sont des exemples de milieux poreux consolidés.

Les *aquifères fissurés* sont des roches dans lesquelles l'eau souterraine circule à travers des fissures, des joints ou des fractures dans une roche par ailleurs solides. Le granite et le basalte en constituent des exemples. Les calcaires sont souvent des aquifères fissurés, mais, ici, les fissures et les fractures peuvent être agrandies par dissolution, formant de grands chenaux ou même des cavernes. Un terrain calcaire où la dissolution a été très active s'appelle le *karst*. Les milieux poreux comme le grès peuvent présenter un degré si élevé de cimentation ou de recristallisation que tous les espaces originaux sont remplis. Dans ce cas, la roche n'est plus un milieu poreux. Toutefois, si elle contient des fissures, elle peut encore assurer la fonction d'un aquifère fissuré.

La plupart des aquifères qui revêtent un intérêt pour nous sont des milieux poreux meubles comme le sable et le gravier. Certains matériaux très poreux ne sont pas perméables. L'argile, par exemple, comporte de nombreux interstices entre ses grains, mais ces vides interstitiels ne sont pas assez grands pour permettre le libre passage de l'eau.

L'eau souterraine, source d'énergie

L'eau souterraine peut être utilisée comme source de chaleur. Les thermopompes utilisant l'eau souterraine offrent une solution de plus en plus remarquée pour les systèmes de chauffage et de climatisation à haut rendement énergétique dans les installations commerciales et résidentielles. Bien que les coûts initiaux soient plus élevés que ceux des systèmes à air — en raison des coûts supplémentaires des installations souterraines — le rendement énergétique supérieur des systèmes souterrains les rend de plus en plus attrayants.

La recherche sur l'utilisation de l'eau géothermique a été menée dans plusieurs institutions dans tout le Canada. La ville de Moose Jaw met au point un système de chauffage géothermique pour une piscine publique et une installation de loisirs. *Carleton University*, à Ottawa, utilise déjà l'eau souterraine pour chauffer et climatiser ses bâtiments. À Springhill, en Nouvelle-Écosse, un système pilote de chauffage géothermique est en cours d'évaluation.

L'eau souterraine coule généralement vers le bas, dans le sens de la pente de la surface de saturation. Comme l'eau de surface, l'eau souterraine s'écoule vers les cours d'eau, les lacs et les océans pour éventuellement les rejoindre. L'écoulement de l'eau souterraine dans les aquifères sous-jacents aux bassins versants de surface ne reflète pas toujours l'écoulement de l'eau à la surface. En conséquence, l'eau souterraine peut se déplacer dans des directions différentes de celles de l'écoulement de surface.

Figure 3

Aquifères et puits

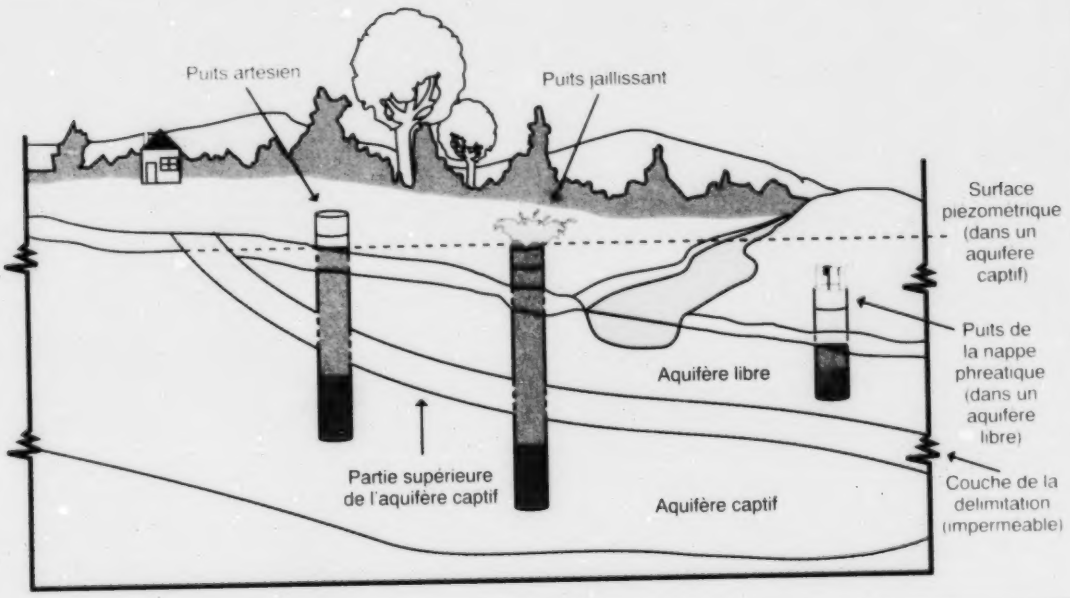
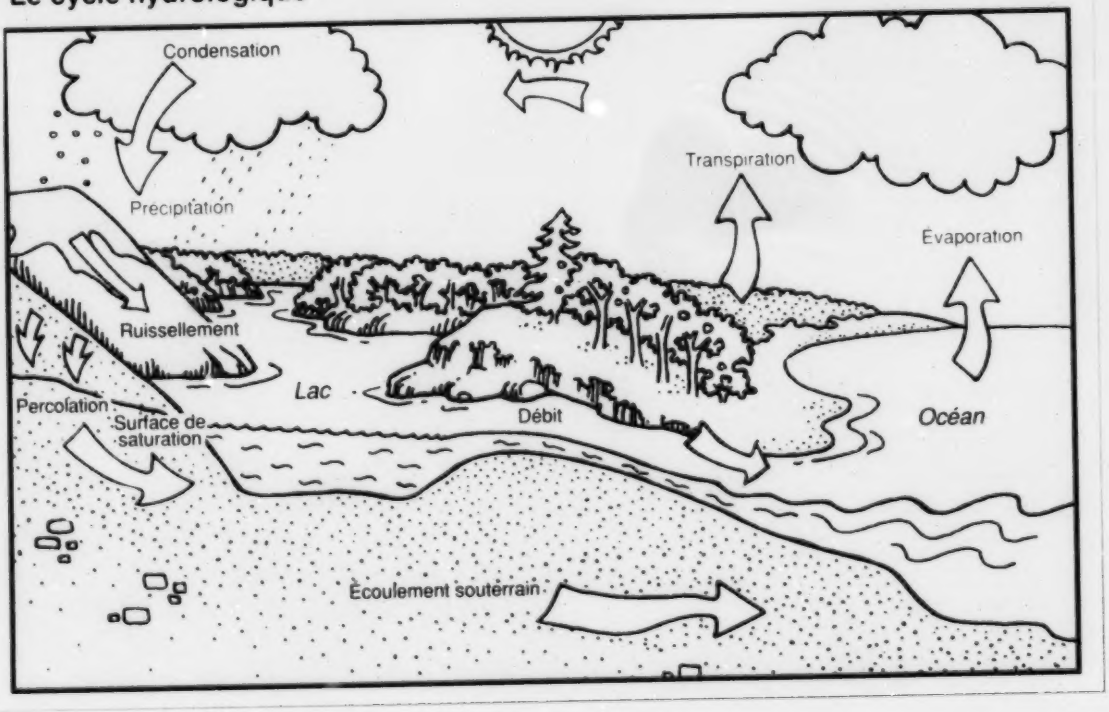


Figure 4

Le cycle hydrologique



Source artesienne. Pisquid (Île-du-Prince-Édouard). (Gracieusete de A.D. Kindervater)

Les *aquifères libres* (figure 3) sont des nappes a surface libre limitees par la surface de saturation. Toutefois, certains aquiferes se situent au-dessous de couches de materiaux imperméables; ce sont des *aquiferes captifs*, ou parfois des *nappes artesiennes*. Un puits dans un aquifere de ce type est un *puits artesien*.

L'eau dans ces puits s'eleve a un niveau plus haut que la partie superieure de l'aquifere en raison de la pression sous laquelle elle est maintenue. Si le niveau d'eau monte au-dessus de la surface du sol, il se forme un *puits jaillissant*. La *surface piezometrique* est le niveau auquel s'elevera l'eau d'un aquifere artesien.

L'eau souterraine — un maillon essentiel dans le cycle hydrologique

La circulation de l'eau souterraine fait partir du cycle hydrologique. Les precipitations et d'autres sources d'eau de surface alimentent l'eau souterraine qui se draine constamment, et parfois tres lentement, vers son points de deversement.

L'eau souterraine ne reste pas en permanence dans le sous-sol et elle ne constitue pas toujours des réserves exploitables a volonte par des puits. Le *cycle hydrologique* est la serie de transformations qui se produisent dans la circulation de l'eau de l'atmosphere vers la surface et dans les regions souterraines de la terre, puis de nouveau de la surface vers l'atmosphere. Les precipitations se transforment en eau de surface, en humidité du sol et en eau souterraine. L'eau souterraine circule a nouveau vers la surface, et, de la surface, toute l'eau retourne a l'atmosphere par évaporation et transpiration (figure 4).

Lorsque les precipitations tombent a la surface du sol, une partie de l'eau se deverse dans les lacs et les cours d'eau. Une certaine partie de l'eau provenant de la fonte des neiges et des precipitations s'infiltre dans le sol et percole dans la zone de saturation. Ce processus s'appelle l'*alimentation* (figure 2), et les endroits ou il se produit s'appellent *zones d'alimentation*.

Cette eau peut finalement reapparaitre au-dessus du sol. C'est l'*emergence*. L'eau souterraine peut se deverser dans les cours d'eau, les marais, les lacs et les oceans, ou bien son emission peut se presenter sous forme de *sources* et de *puits jaillissants*.

Figure 5

Estimation de la profondeur et du temps de séjour des réserves d'eau de la planète

Paramètre	Équivalent en profondeur (m*)	Temps de séjour
Océans et mers	2500	~ 4000 ans
Lacs et réservoirs	0,25	~ 10 ans
Marais	0,007	1 – 10 ans
Canaux fluviaux	0,003	2 semaines
Humidité du sol	0,13	2 semaines – 1 an
Eau souterraine	120	2 semaines – 10 000 ans
Calottes glacières et glaciers	60	10 – 1000 ans
Eau atmosphérique	0,025	~ 10 jours
Eau biosphérique	0,001	~ 1 semaine

*Calculé comme si l'emmagasinement était uniformément réparti sur toute la surface de la terre.

Source : adaptée de Freeze et Cherry, p. 5.

Source artésienne. Pisquid (Île-du-Prince-Édouard).
(Gracieuseté de A.D. Kindervater)

Les *aquifères libres* (figure 3) sont des nappes à surface libre limitées par la surface de saturation. Toutefois, certains aquifères se situent au-dessous de couches de matériaux imperméables; ce sont des *aquifères captifs*, ou parfois des *nappes artésiennes*. Un puits dans un aquifère de ce type est un *puits artésien*.

L'eau dans ces puits s'élève à un niveau plus haut que la partie supérieure de l'aquifère en raison de la pression sous laquelle elle est maintenue. Si le niveau d'eau monte au-dessus de la surface du sol, il se forme un *puits jaillissant*. La *surface piézométrique* est le niveau auquel s'élèvera l'eau d'un aquifère artésien.

L'eau souterraine — un maillon essentiel dans le cycle hydrologique

La circulation de l'eau souterraine fait partir du cycle hydrologique. Les précipitations et d'autres sources d'eau de surface alimentent l'eau souterraine qui se draine constamment, et parfois très lentement, vers son points de déversement.

L'eau souterraine ne reste pas en permanence dans le sous-sol et elle ne constitue pas toujours des réserves exploitables à volonté par des puits. Le *cycle hydrologique* est la série de transformations qui se produisent dans la circulation de l'eau de l'atmosphère vers la surface et dans les régions souterraines de la terre, puis de nouveau de la surface vers l'atmosphère. Les précipitations se transforment en eau de surface, en humidité du sol et en eau souterraine. L'eau souterraine circule à nouveau vers la surface, et, de la surface, toute l'eau retourne à l'atmosphère par évaporation et transpiration (figure 4).

Lorsque les précipitations tombent à la surface du sol, une partie de l'eau se déverse dans les lacs et les cours d'eau. Une certaine partie de l'eau provenant de la fonte des neiges et des précipitations s'infiltre dans le sol et percole dans la zone de saturation. Ce processus s'appelle l'*alimentation* (figure 2), et les endroits où il se produit s'appellent *zones d'alimentation*.

Cette eau peut finalement réapparaître au-dessus du sol. C'est l'*émergence*. L'eau souterraine peut se déverser dans les cours d'eau, les marais, les lacs et les océans, ou bien son émission peut se présenter sous forme de *sources* et de *puits jaillissants*.

Figure 5

Estimation de la profondeur et du temps de séjour des réserves d'eau de la planète

Paramètre	Équivalent en profondeur (m*)	Temps de séjour
Océans et mers	2500	~ 4000 ans
Lacs et réservoirs	0,25	~ 10 ans
Marais	0,007	1 – 10 ans
Canaux fluviaux	0,003	2 semaines
Humidité du sol	0,13	2 semaines – 1 an
Eau souterraine	120	2 semaines – 10 000 ans
Calottes glacières et glaciers	60	10 – 1000 ans
Eau atmosphérique	0,025	~ 10 jours
Eau biosphérique	0,001	~ 1 semaine

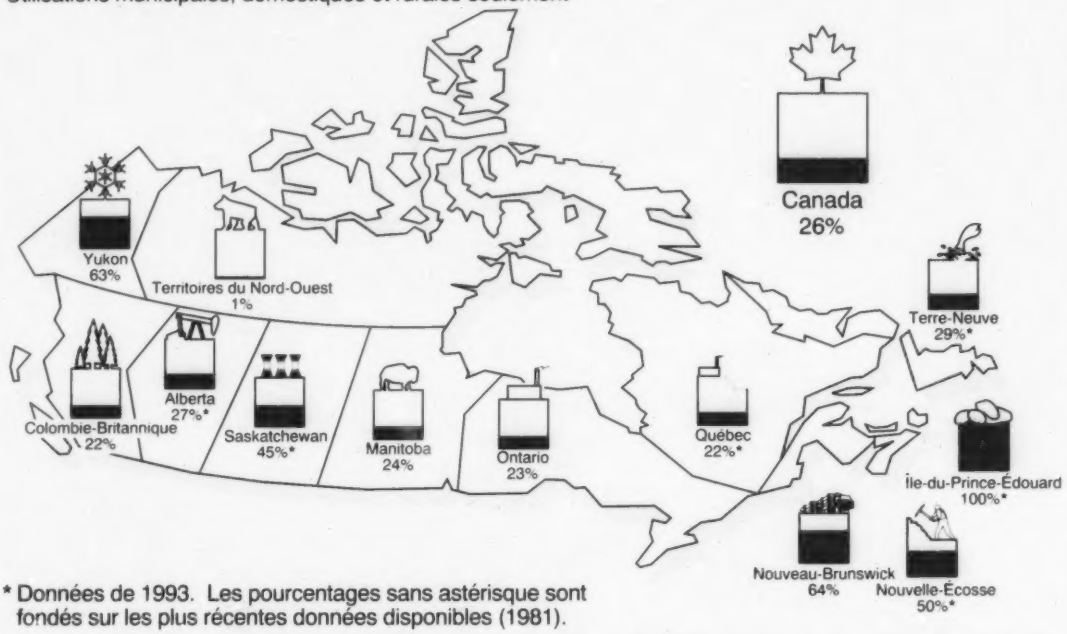
*Calculé comme si l'emmagasinement était uniformément réparti sur toute la surface de la terre.

Source : adaptée de Freeze et Cherry, p. 5.

Figure 6

Pourcentage de la population tributaire de l'eau souterraine

Utilisations municipales, domestiques et rurales seulement



* Données de 1993. Les pourcentages sans astérisque sont fondés sur les plus récentes données disponibles (1981).

L'émergence de l'eau souterraine peut contribuer considérablement à l'écoulement de l'eau de surface. Durant les périodes sèches, le débit de certains cours d'eau peut être entièrement alimenté par l'eau souterraine. En tout temps de l'année, en fait, la nature des formations souterraines exerce un effet marqué sur le volume du ruissellement. Tandis que le débit d'émergence détermine le volume d'eau circulant de la zone de saturation vers les cours d'eau, le taux d'alimentation détermine le volume d'eau s'écoulant à la surface. Lorsqu'il pleut, par exemple, le volume de l'eau se déversant dans les cours d'eau dépend de la quantité de précipitations que les matériaux souterrains peuvent absorber. Lorsque la quantité d'eau à la surface est supérieure à la capacité d'absorption des matériaux souterrains, elle se déverse dans les cours d'eau et les lacs.

Le *temps de séjour* de l'eau souterraine, c'est-à-dire la durée pendant laquelle l'eau demeure dans la portion souterraine du cycle hydrologique, varie énormément. L'eau peut demeurer seulement quelques jours ou quelques semaines dans le sous-sol, ou jusqu'à 10 000 ans ou plus (figure 5). Les temps de séjour de dizaines, de centaines ou même de milliers d'années ou plus ne s'ont pas exceptionnels. À titre de comparaison, le temps de renouvellement de l'eau de rivières, ou le temps que met l'eau des rivières à se remplacer complètement, est d'environ deux semaines.

L'eau souterraines et le pergélisol

La plus grande partie des Territoires du Nord-Ouest (T.N.-O.) est recouverte par le Bouclier canadien ou par le pergélisol (sol gelé en permanence), deux types de terrain qui inhibent l'écoulement des eaux souterraines. On relève deux grandes exceptions, soit les monts Mackenzie dans l'ouest des T.N.-O. et au Yukon ainsi que les terres calcaires du sud-ouest du Grand lac des Esclaves, où les sols, les roches fracturées et les débris glaciaires constituent un matériau pouvant emmagasiner et libérer les eaux souterraines.

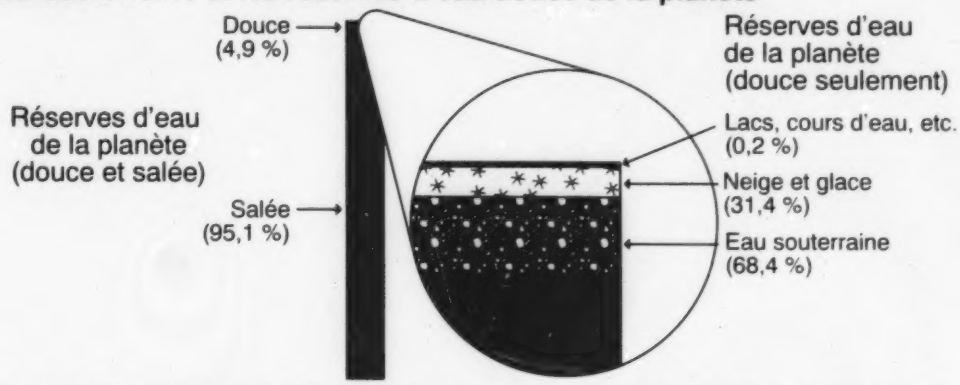
À l'échelle locale, la formation saisonnière d'une «couche active» dégelée au-dessus du pergélisol peut favoriser la création de chemins perméables autorisant un mouvement souterrain de l'eau et des contaminants.

Six millions de Canadiens sont tributaires de l'eau souterraine

Au Canada, plus de six millions de personnes, soit 26 % de la population, sont tributaires de l'eau souterraine pour leurs besoins domestiques (figure 6). Environ deux-tiers ou quatre millions de ces usagers vivent dans des régions rurales. Dans de nombreuses régions, les puits produisent des réserves d'eau plus fiables et moins chères que celles obtenues dans les lacs et les cours d'eau voisins. Les deux autres millions de consommateurs se situent essentiellement dans des petites municipalités où l'eau souterraine fournit la principale source des systèmes de distribution d'eau.

Figure 7

L'eau souterraine et les réserves d'eau douce de la planète



Source : adaptée de la figure 2, nº2 de la collection Eau douce, «De l'eau — ici, là-bas, partout de l'eau».

Par exemple, 100 % de la population de l'Île-du-Prince-Édouard, et plus de 60 % de la population du Nouveau-Brunswick et du Yukon dépendent de l'eau souterraine pour satisfaire leurs besoins domestiques.

En outre, l'utilisation prédominante de l'eau souterraine varie selon la province. En Ontario, à l'Île-du-Prince-Édouard, au Nouveau-Brunswick et au Yukon, les plus gros utilisateurs de l'eau souterraine sont les municipalités; en Alberta, en Saskatchewan et au Manitoba, c'est l'industrie agricole pour l'abreuvement du bétail; en Colombie-Britannique, au Québec et dans les Territoires du Nord-Ouest, c'est l'industrie; et à Terre-Neuve et en Nouvelle-Écosse, c'est l'utilisation domestique rurale. L'Île-du-Prince-Édouard est presque totalement tributaire de l'eau souterraine pour toutes ses utilisations.

Selon certaines estimations, l'eau souterraine terrestre pourrait couvrir toute la surface du globe sur une profondeur de 120 mètres (figure 5). À titre de comparaison, le volume des eaux de surface des lacs, cours d'eau, réservoirs et marais pourrait être contenu sur une profondeur d'environ un quart de mètre.

Il est extrêmement difficile d'estimer le volume de l'eau souterraine sur toute la planète. Par exemple, une analyse documentaire récente révélait des chiffres allant de 7 000 000 à 330 000 000 de kilomètres cubes. Toutefois, toutes les estimations impliquent que, si nous ne comptons pas l'eau gelée des calottes glaciaires, des glaciers et des neiges persistantes, l'eau souterraine constitue presque le volume total de l'eau douce utilisable de la terre (figure 7). Pourtant, il arrive souvent que ces réserves ne sont pas facilement accessibles, et il peut se révéler difficile et coûteux de les exploiter dans certaines régions. La qualité de la source d'eau souterraine est également un facteur déterminant majeur dans l'établissement de son utilisation.

Qualité de l'eau souterraine

Nous pensons souvent à la qualité de l'eau en termes de goût, de pureté et d'odeur, et en fonction d'autres propriétés qui déterminent si l'eau est potable. Pour d'autres utilisations, différentes propriétés peuvent être importantes. La plupart de ces propriétés dépendent des sortes de substances qui sont dissoutes ou en suspension dans l'eau. L'eau pour la plupart des utilisations industrielles, par exemple, ne doit pas être corrosive et ne doit pas contenir de matières dissoutes qui pourraient former un precipité sur les surfaces de la machinerie et du matériel.

L'eau pure est insipide et inodore. Une molécule d'eau contient seulement des atomes d'hydrogène et d'oxygène. On ne trouve jamais l'eau à l'état pur dans la nature. Les eaux souterraines et les eaux de surface peuvent contenir de nombreux constituants, notamment des micro-organismes, des gaz, et des matières organiques et inorganiques.

La nature chimique de l'eau évolue continuellement au cours de sa circulation dans le cycle hydrologique. Les types de constituants chimiques trouvés dans l'eau souterraine dépendent, en partie, de la chimie des précipitations et de l'eau d'alimentation. Près des côtes, les précipitations contiennent des concentrations plus élevées de chlorure de sodium, et, en aval des zones industrielles, des composés atmosphériques de soufre et d'azote rendent les précipitations acides.

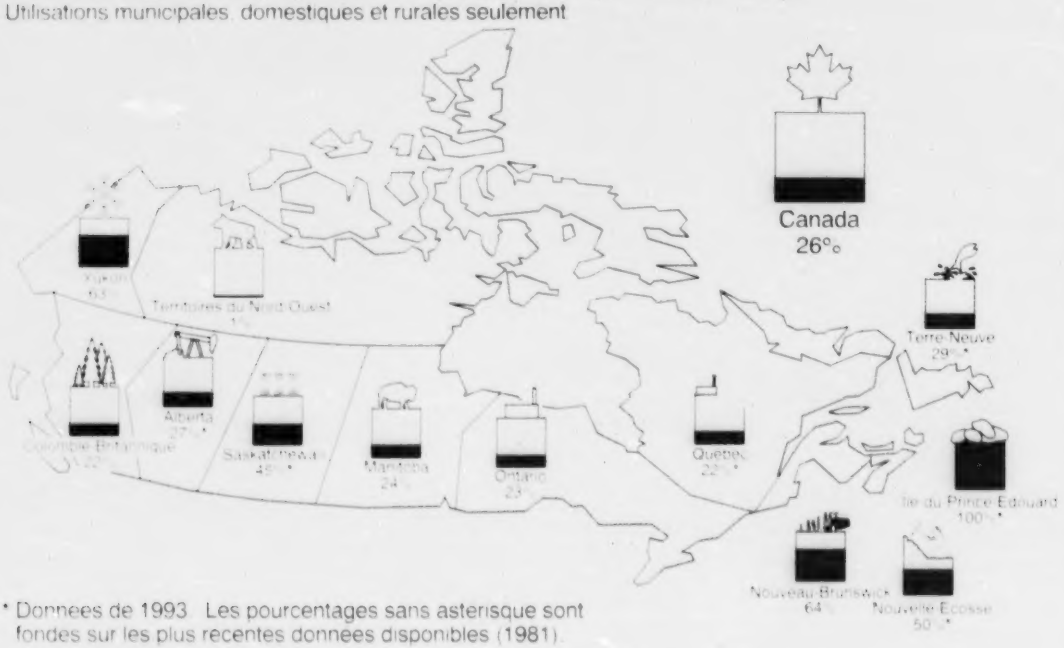
Invasion d'eau salée

L'invasion d'eau salée peut poser un problème dans les régions côtières où les taux de pompage des eaux souterraines sont assez élevés pour entraîner une invasion d'eau salée dans des aquifères d'eau douce (figure 2). Le problème peut être évité par la conception appropriée d'un champ de captage et le forage de drains verticaux pour drainer l'eau salée de la source d'eau douce souterraine. À l'Île-du-Prince-Édouard, certains puits de pompage de l'eau salée servent à alimenter des fermes d'élevage de mollusques et de crustacés.

Figure 6

Pourcentage de la population tributaire de l'eau souterraine

Utilisations municipales, domestiques et rurales seulement



* Données de 1993. Les pourcentages sans astérisque sont fondés sur les plus récentes données disponibles (1981).

L'émergence de l'eau souterraine peut contribuer considérablement à l'écoulement de l'eau de surface. Durant les périodes sèches, le débit de certains cours d'eau peut être entièrement alimenté par l'eau souterraine. En tout temps de l'année, en fait, la nature des formations souterraines exerce un effet marqué sur le volume du ruissellement. Tandis que le débit d'émergence détermine le volume d'eau circulant de la zone de saturation vers les cours d'eau, le taux d'alimentation détermine le volume d'eau s'écoulant à la surface. Lorsqu'il pleut, par exemple, le volume de l'eau se déversant dans les cours d'eau dépend de la quantité de précipitations que les matériaux souterrains peuvent absorber. Lorsque la quantité d'eau à la surface est supérieure à la capacité d'absorption des matériaux souterrains, elle se déverse dans les cours d'eau et les lacs.

Le *temps de séjour* de l'eau souterraine, c'est-à-dire la durée pendant laquelle l'eau demeure dans la portion souterraine du cycle hydrologique, varie énormément. L'eau peut demeurer seulement quelques jours ou quelques semaines dans le sous-sol, ou jusqu'à 10 000 ans ou plus (figure 5). Les temps de séjour de dizaines, de centaines ou même de milliers d'années ou plus ne sont pas exceptionnels. À titre de comparaison, le temps de renouvellement de l'eau de rivières, ou le temps que met l'eau des rivières à se remplacer complètement, est d'environ deux semaines.

L'eau souterraines et le pergélisol

La plus grande partie des Territoires du Nord-Ouest (T.N.-O.) est recouverte par le Bouclier canadien ou par le pergélisol (sol gelé en permanence), deux types de terrain qui inhibent l'écoulement des eaux souterraines. On relève deux grandes exceptions, soit les monts Mackenzie dans l'ouest des T.N.-O. et au Yukon ainsi que les terres calcaires du sud-ouest du Grand lac des Esclaves, où les sols, les roches fracturées et les débris glaciaires constituent un matériau pouvant emmagasiner et libérer les eaux souterraines.

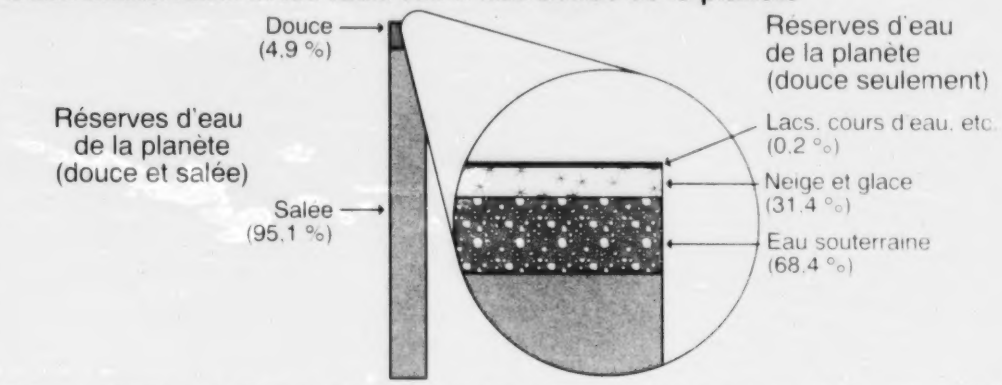
À l'échelle locale, la formation saisonnière d'une «couche active» dégelée au-dessus du pergélisol peut favoriser la création de chemins perméables autorisant un mouvement souterrain de l'eau et des contaminants.

Six millions de Canadiens sont tributaires de l'eau souterraine

Au Canada, plus de six millions de personnes, soit 26 % de la population, sont tributaires de l'eau souterraine pour leurs besoins domestiques (figure 6). Environ deux-tiers ou quatre millions de ces usagers vivent dans des régions rurales. Dans de nombreuses régions, les puits produisent des réserves d'eau plus fiables et moins chères que celles obtenues dans les lacs et les cours d'eau voisins. Les deux autres millions de consommateurs se situent essentiellement dans des petites municipalités ou l'eau souterraine fournit la principale source des systèmes de distribution d'eau.

Figure 7

L'eau souterraine et les réserves d'eau douce de la planète



Source : adaptée de la figure 2, n°2 de la collection Eau douce, «De l'eau — ici, là-bas, partout de l'eau»

Par exemple, 100 % de la population de l'Île-du-Prince-Édouard, et plus de 60 % de la population du Nouveau-Brunswick et du Yukon dépendent de l'eau souterraine pour satisfaire leurs besoins domestiques.

En outre, l'utilisation prédominante de l'eau souterraine varie selon la province. En Ontario, à l'Île-du-Prince-Édouard, au Nouveau-Brunswick et au Yukon, les plus gros utilisateurs de l'eau souterraine sont les municipalités; en Alberta, en Saskatchewan et au Manitoba, c'est l'industrie agricole pour l'abreuvement du bétail; en Colombie-Britannique, au Québec et dans les Territoires du Nord-Ouest, c'est l'industrie; et à Terre-Neuve et en Nouvelle-Écosse, c'est l'utilisation domestique rurale. L'Île-du-Prince-Édouard est presque totalement tributaire de l'eau souterraine pour toutes ses utilisations.

Selon certaines estimations, l'eau souterraine terrestre pourrait couvrir toute la surface du globe sur une profondeur de 120 mètres (figure 5). À titre de comparaison, le volume des eaux de surface des lacs, cours d'eau, réservoirs et marais pourrait être contenu sur une profondeur d'environ un quart de mètre.

Il est extrêmement difficile d'estimer le volume de l'eau souterraine sur toute la planète. Par exemple, une analyse documentaire récente révélait des chiffres allant de 7 000 000 à 330 000 000 de kilomètres cubes. Toutefois, toutes les estimations impliquent que, si nous ne comptons pas l'eau gelée des calottes glaciaires, des glaciers et des neiges persistantes, l'eau souterraine constitue presque le volume total de l'eau douce utilisable de la terre (figure 7). Pourtant, il arrive souvent que ces réserves ne sont pas facilement accessibles, et il peut se révéler difficile et coûteux de les exploiter dans certaines régions. La qualité de la source d'eau souterraine est également un facteur déterminant majeur dans l'établissement de son utilisation.

Qualité de l'eau souterraine

Nous pensons souvent à la qualité de l'eau en termes de goût, de pureté et d'odeur, et en fonction d'autres propriétés qui déterminent si l'eau est potable. Pour d'autres utilisations, différentes propriétés peuvent être importantes. La plupart de ces propriétés dépendent des sortes de substances qui sont dissoutes ou en suspension dans l'eau. L'eau pour la plupart des utilisations industrielles, par exemple, ne doit pas être corrosive et ne doit pas contenir de matières dissoutes qui pourraient former un précipité sur les surfaces de la machinerie et du matériel.

L'eau pure est insipide et inodore. Une molécule d'eau contient seulement des atomes d'hydrogène et d'oxygène. On ne trouve jamais l'eau à l'état pur dans la nature. Les eaux souterraines et les eaux de surface peuvent contenir de nombreux constituants, notamment des micro-organismes, des gaz, et des matières organiques et inorganiques.

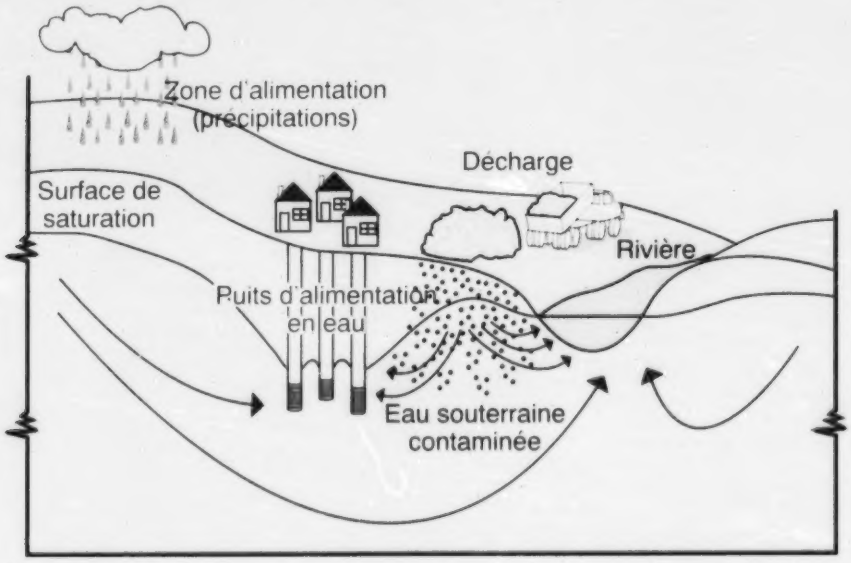
La nature chimique de l'eau évolue continuellement au cours de sa circulation dans le cycle hydrologique. Les types de constituants chimiques trouvés dans l'eau souterraine dépendent, en partie, de la chimie des précipitations et de l'eau d'alimentation. Près des côtes, les précipitations contiennent des concentrations plus élevées de chlorure de sodium, et, en aval des zones industrielles, des composés atmosphériques de soufre et d'azote rendent les précipitations acides.

Invasion d'eau salée

L'invasion d'eau salée peut poser un problème dans les régions côtières où les taux de pompage des eaux souterraines sont assez élevés pour entraîner une invasion d'eau salée dans des aquifères d'eau douce (figure 2). Le problème peut être évité par la conception appropriée d'un champ de captage et le forage de drains verticaux pour drainer l'eau salée de la source d'eau douce souterraine. À l'Île-du-Prince-Édouard, certains puits de pompage de l'eau salée servent à alimenter des fermes d'élevage de mollusques et de crustacés.

Figure 8

Contamination des eaux souterraines par une décharge



L'une des transformations naturelles les plus importantes dans la chimie de l'eau souterraine se produit dans le sol. Les sols contiennent des concentrations élevées de gaz carbonique qui se dissout dans l'eau souterraine, créant un acide fiable capable de dissoudre de nombreux minéraux de silicate. Dans son transfert d'une zone d'alimentation à une zone d'émission, l'eau souterraine peut dissoudre les substances qu'elle rencontre ou elle peut déposer certains de ses constituants en cours de route. La qualité définitive de l'eau souterraine dépend des conditions de température et de pression, des types de roches et de sols à travers lesquels elle s'écoule et peut-être du temps de séjour. En général, l'eau à écoulement plus rapide dissout moins de matières. L'eau souterraine transporte naturellement avec elle tous les contaminants solubles qu'elle rencontre.

Les scientifiques évaluent la *qualité de l'eau* en mesurant les quantités des divers constituants contenus dans l'eau. Ces quantités sont souvent exprimées en milligrammes par litre (mg/L).

Le fait qu'une eau convient pour une utilisation donnée dépend de nombreux facteurs tels que la dureté, la salinité et le pH. Les valeurs acceptables de chacun de ces paramètres pour toute utilisation donnée dépendent de l'utilisation, et non pas de la source de l'eau, de sorte que les considérations importantes pour les eaux de surface (telles qu'elles sont mentionnées dans le n° 3 de la collection Eau douce, «L'eau propre — la vie en dépend!») s'appliquent également à l'eau souterraine.

La qualité naturelle de l'eau souterraine diffère de celle des eaux de surface par les caractéristiques suivantes :

a) pour toute source donnée, sa qualité, sa température et ses paramètres sont moins variables dans le temps;

b) dans la nature, l'échelle de valeurs des paramètres de l'eau souterraine est beaucoup plus grande que pour les eaux de surface; par exemple, les matières dissoutes totales peuvent varier de 25 mg/L en certains endroits du Bouclier canadien à 300 000 mg/L dans certaines eaux profondes salines des Plaines intérieures.

Fuites de réservoirs de stockage souterrains et des conduites

Les cas de fuites de produits pétroliers ont vu leur nombre augmenter au cours des deux dernières décennies par suite de la corrosion des réservoirs souterrains en acier, installés en grand nombre dans les années 1950 et 1960. Avant 1980, la plupart des réservoirs souterrains étaient en acier. Sans une protection adéquate contre la corrosion, jusqu'à la moitié d'entre eux présentent des fuites après 15 ans de vie utile.

L'eau souterraine dissout de nombreux composés divers, et la plupart de ces substances peuvent contaminer de grandes quantités d'eau. Par exemple, un litre d'essence peut contaminer un million de litres d'eau souterraine. Ce problème est particulièrement grave dans les provinces de l'Atlantique où l'on fait grand usage de cette eau. Dans de nombreux cas, le problème est cerné bien après que l'aquifère ait été contaminé, par exemple, lorsque les consommateurs commencent à déceler un goût ou une odeur d'essence.

Figure 9

Sources de contamination susceptibles de causer la contamination de l'eau souterraine

Sources ponctuelles

Systèmes septiques sur place

Fuites de réservoirs ou de pipelines contenant des produits pétroliers

Pertes ou déversements de produits chimiques industriels aux installations de fabrication

Puits d'injection souterrains (déchets industriels)

Décharges municipales

Déchets d'élevage du bétail

Fuites de réseau d'égouts

Produits chimiques utilisés dans les installations de préservation du bois

Résidus de zones minières

Cendres volantes des centrales thermiques alimentées au charbon

Zones d'élimination des boues dans les raffineries de pétrole

Épandage des boues résiduaires

Cimetières

Zones de stockage de sel pour les routes

Puits pour l'élimination des déchets liquides

Ruissellement du sel et d'autres produits chimiques sur les routes et autoroutes

Déversements liés aux accidents routiers ou ferroviaires

Goudron de houille dans les anciens lieux de gazéification

Production d'asphalte et terrains de nettoyage de l'équipement

Sources non ponctuelles (diffuses)

Engrais sur les terres agricoles

Pesticides sur les terres agricoles et les forêts

Contaminants dans les retombées sous forme de précipitations, de neige et de dépôts atmosphériques secs

Source : adaptée de Cherry, p. 395.

LDNA

Un type de contaminant qui pose un problème sérieux est le groupe de produits chimiques connus sous le nom de *liquides denses non aqueux* ou les LDNA. Il s'agit de produits chimiques utilisés dans le nettoyage à sec, la préservation du bois, les revêtements d'asphalte, l'usinage, la construction et la réparation d'automobiles, l'équipement aéronautique, les munitions et le matériel électrique. Ils peuvent être également produits et déversés à la suite d'accidents, par exemple l'incendie de pneus d'Hagersville. Ces substances sont plus lourdes que l'eau et s'enfoncent rapidement dans le sol, ce qui pose de plus grandes difficultés dans le traitement de ce genre de produits qu'avec les produits pétroliers. Comme pour ces derniers, les problèmes découlent du fait que l'eau souterraine dissout certains des composés en LDNA. Ces composés peuvent alors migrer avec l'écoulement des eaux souterraines. Sauf dans les grandes villes, la présence de ces contaminants est rarement vérifiée dans l'eau potable.

En tout lieu donné, l'eau souterraine tend à être plus dure et plus saline que les eaux de surface, mais il ne s'agit nullement d'une règle universelle. Il arrive aussi généralement que la salinité de l'eau souterraine augmente proportionnellement à la profondeur, cependant, il existe, encore une fois, de nombreuses exceptions.

Puisque l'eau souterraine coule à travers un aquifère, elle est naturellement filtrée. Cette filtration, combinée à une longue période de séjour souterrain, signifie que l'eau souterraine est ordinairement exempte de microorganismes pathogènes. Une source de contamination proche d'un puits peut, cependant, vaincre ces défenses naturelles. La filtration naturelle signifie en outre que l'eau souterraine contient habituellement moins de matières en suspension et de matières non dissoutes que les eaux de surface.

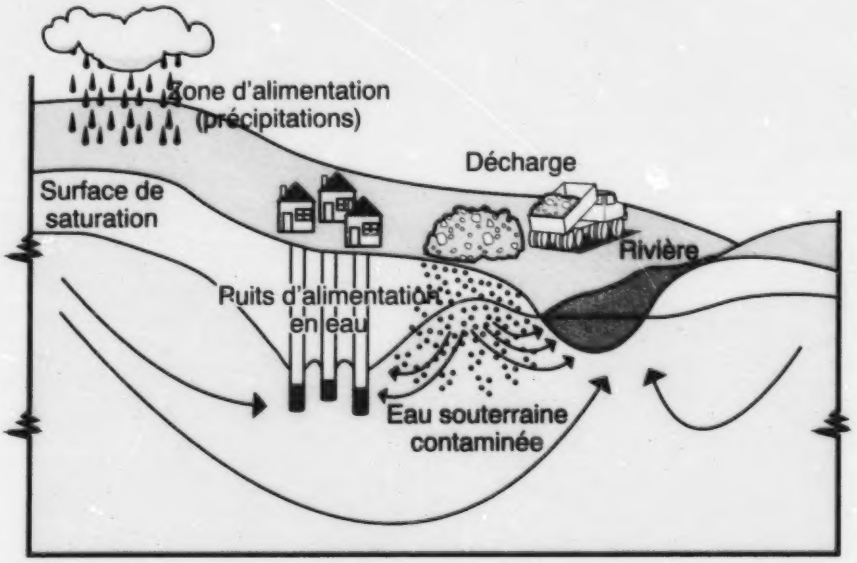
Comment nous contaminons l'eau souterraine

Tout apport de substances indésirables dans l'eau souterraine, causé par les activités humaines, est considéré comme une contamination. On a souvent supposé que les contaminants laissés sur ou sous un sol demeureront à cet endroit même. C'est prendre ses désirs pour des réalités. L'eau souterraine disperse souvent les effets des décharges et des déversements bien au-delà du lieu de la contamination initiale (figure 8). La contamination de l'eau souterraine est extrêmement difficile, et parfois impossible, à nettoyer.

Les contaminants de l'eau souterraine proviennent de deux catégories de sources : les *sources ponctuelles* et les sources diffuses ou *non ponctuelles* (figure 9).

Figure 8

Contamination des eaux souterraines par une décharge



L'une des transformations naturelles les plus importantes dans la chimie de l'eau souterraine se produit dans le sol. Les sols contiennent des concentrations élevées de gaz carbonique qui se dissout dans l'eau souterraine, créant un acide fiable capable de dissoudre de nombreux minéraux de silicate. Dans son transfert d'une zone d'alimentation à une zone d'émission, l'eau souterraine peut dissoudre les substances qu'elle rencontre ou elle peut déposer certains de ses constituants en cours de route. La qualité définitive de l'eau souterraine dépend des conditions de température et de pression, des types de roches et de sols à travers lesquels elle s'écoule et peut-être du temps de séjour. En général, l'eau à écoulement plus rapide dissout moins de matières. L'eau souterraine transporte naturellement avec elle tous les contaminants solubles qu'elle rencontre.

Les scientifiques évaluent la *qualité de l'eau* en mesurant les quantités des divers constituants contenus dans l'eau. Ces quantités sont souvent exprimées en milligrammes par litre (mg/L).

Le fait qu'une eau convient pour une utilisation donnée dépend de nombreux facteurs tels que la dureté, la salinité et le pH. Les valeurs acceptables de chacun de ces paramètres pour toute utilisation donnée dépendent de l'utilisation, et non pas de la source de l'eau, de sorte que les considérations importantes pour les eaux de surface (telles qu'elles sont mentionnées dans le n° 3 de la collection Eau douce, «L'eau propre — la vie en dépend!») s'appliquent également à l'eau souterraine.

La qualité naturelle de l'eau souterraine diffère de celle des eaux de surface par les caractéristiques suivantes :

a) pour toute source donnée, sa qualité, sa température et ses paramètres sont moins variables dans le temps;

b) dans la nature, l'échelle de valeurs des paramètres de l'eau souterraine est beaucoup plus grande que pour les eaux de surface; par exemple, les matières dissoutes totales peuvent varier de 25 mg/L en certains endroits du Bouclier canadien à 300 000 mg/L dans certaines eaux profondes salines des Plaines intérieures.

Fuites de réservoirs de stockage souterrains et des conduites

Les cas de fuites de produits pétroliers ont vu leur nombre augmenter au cours des deux dernières décennies par suite de la corrosion des réservoirs souterrains en acier, installés en grand nombre dans les années 1950 et 1960. Avant 1980, la plupart des réservoirs souterrains étaient en acier. Sans une protection adéquate contre la corrosion, jusqu'à la moitié d'entre eux présentent des fuites après 15 ans de vie utile.

L'eau souterraine dissout de nombreux composés divers, et la plupart de ces substances peuvent contaminer de grandes quantités d'eau. Par exemple, un litre d'essence peut contaminer un million de litres d'eau souterraine. Ce problème est particulièrement grave dans les provinces de l'Atlantique où l'on fait grand usage de cette eau. Dans de nombreux cas, le problème est cerné bien après que l'aquifère ait été contaminé, par exemple, lorsque les consommateurs commencent à déceler un goût ou une odeur d'essence.

Figure 9

Sources de contamination susceptibles de causer la contamination de l'eau souterraine

Sources ponctuelles

Systèmes septiques sur place

Fuites de réservoirs ou de pipelines contenant des produits pétroliers

Pertes ou déversements de produits chimiques industriels aux installations de fabrication

Puits d'injection souterrains (déchets industriels)

Décharges municipales

Déchets d'élevage du bétail

Fuites de réseau d'égouts

Produits chimiques utilisés dans les installations de préservation du bois

Résidus de zones minières

Cendres volantes des centrales thermiques alimentées au charbon

Zones d'élimination des boues dans les raffineries de pétrole

Épandage des boues résiduaires

Cimetières

Zones de stockage de sel pour les routes

Puits pour l'élimination des déchets liquides

Ruissellement du sel et d'autres produits chimiques sur les routes et autoroutes

Déversements liés aux accidents routiers ou ferroviaires

Goudron de houille dans les anciens lieux de gazéification

Production d'asphalte et terrains de nettoyage de l'équipement

Sources non ponctuelles (diffuses)

Engrais sur les terres agricoles

Pesticides sur les terres agricoles et les forêts

Contaminants dans les retombées sous forme de précipitations, de neige et de dépôts atmosphériques secs

Source : adaptée de Cherry, p. 395.

LDNA

Un type de contaminant qui pose un problème sérieux est le groupe de produits chimiques connus sous le nom de *liquides denses non aqueux* ou les LDNA. Il s'agit de produits chimiques utilisés dans le nettoyage à sec, la préservation du bois, les revêtements d'asphalte, l'usinage, la construction et la réparation d'automobiles, l'équipement aéronautique, les munitions et le matériel électrique. Ils peuvent être également produits et déversés à la suite d'accidents, par exemple l'incendie de pneus d'Hagersville. Ces substances sont plus lourdes que l'eau et s'enfoncent rapidement dans le sol, ce qui pose de plus grandes difficultés dans le traitement de ce genre de produits qu'avec les produits pétroliers. Comme pour ces derniers, les problèmes découlent du fait que l'eau souterraine dissout certains des composés en LDNA. Ces composés peuvent alors migrer avec l'écoulement des eaux souterraines. Sauf dans les grandes villes, la présence de ces contaminants est rarement vérifiée dans l'eau potable.

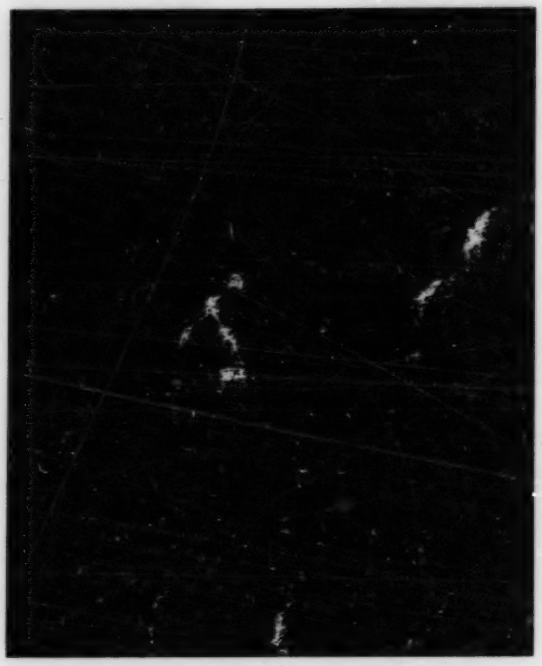
En tout lieu donné, l'eau souterraine tend à être plus dure et plus saline que les eaux de surface, mais il ne s'agit nullement d'une règle universelle. Il arrive aussi généralement que la salinité de l'eau souterraine augmente proportionnellement à la profondeur; cependant, il existe, encore une fois, de nombreuses exceptions.

Puisque l'eau souterraine coule à travers un aquifère, elle est naturellement filtrée. Cette filtration, combinée à une longue période de séjour souterrain, signifie que l'eau souterraine est ordinairement exempte de microorganismes pathogènes. Une source de contamination proche d'un puits peut, cependant, vaincre ces défenses naturelles. La filtration naturelle signifie en outre que l'eau souterraine contient habituellement moins de matières en suspension et de matières non dissoutes que les eaux de surface.

Comment nous contaminons l'eau souterraine

Tout apport de substances indésirables dans l'eau souterraine, causé par les activités humaines, est considéré comme une contamination. On a souvent supposé que les contaminants laissés sur ou sous un sol demeureront à cet endroit même. C'est prendre ses désirs pour des réalités. L'eau souterraine disperse souvent les effets des décharges et des déversements bien au-delà du lieu de la contamination initiale (figure 8). La contamination de l'eau souterraine est extrêmement difficile, et parfois impossible, à nettoyer.

Les contaminants de l'eau souterraine proviennent de deux catégories de sources : les *sources ponctuelles* et les sources diffuses ou *non ponctuelles* (figure 9).



Sources le long de la route. Revelstoke (Colombie-Britannique).

(Gracieuseté de Joachim Moenig)

Les décharges, les fuites de réservoirs d'essence, les pertes de fosses septiques et les déversements accidentels sont des exemples de sources ponctuelles. L'infiltration des pesticides et des engrais des terres agricoles est un exemple de source diffuse.

Parmi les sources ponctuelles les plus importantes figurent les décharges municipales et les lieux d'élimination des déchets industriels. Lorsque l'un de ces emplacements se trouve dans des aquifères de sable ou de gravier ou à proximité, les risques de contamination généralisée sont les plus élevés.

À ville Mercier (Québec), par exemple, l'élimination de déchets industriels, pendant de nombreuses années, dans des lagunes situées dans une ancienne carrière de gravier a rendu inutilisables les réserves d'eau de milliers de résidents de la région. L'eau a dû être pompée d'un puits à 10 kilomètres de distance pour remplacer l'alimentation de la région.

D'autres sources ponctuelles sont individuellement moins importantes, mais elles existent en grand nombre dans tout le pays. Certaines de ces sources de contamination dangereuses et répandues sont les fosses septiques, les fuites et les déversements de produits pétroliers et de liquides organiques industriels denses.

Les systèmes septiques sont conçus de sorte qu'une certaine partie des eaux usées est dégradée dans la fosse et qu'une autre est dégradée et absorbée par le sable et le sous-sol environnants. Les contaminants provenant de systèmes septiques et pouvant pénétrer dans l'eau souterraine comprennent les bactéries, les virus, les détersifs et les produits de nettoyage ménagers. Ceux-ci peuvent créer de sérieux problèmes de contamination. Malgré le fait que les fosses septiques et les puisards sont des sources connues de contamination, ils sont mal surveillés et très peu étudiés.

La contamination peut rendre l'eau nutilisable à toute fin donnée. Même si l'on ignore l'ampleur globale du problème dans tout le Canada, de nombreux cas de contamination ont été étudiés. Citons par exemple ceux de Ville Mercier au Québec, le problème de l'aldicarbe (pesticide) à l'Île-du-Prince-Édouard, les effluents industriels à Elmira (Ontario), divers pesticides dans les provinces des Prairies, la contamination industrielle à Vancouver (Colombie-Britannique), etc. Dans de nombreux cas, la contamination n'est reconnue qu'après l'exposition des utilisateurs à des risques éventuels pour la santé. De plus, le coût d'assainissement des réserves d'eau souterraine contaminée est généralement extrêmement élevé.

Les problèmes de contamination se multiplient au Canada surtout en raison du grand nombre croissant de composés toxiques utilisés dans l'industrie et l'agriculture. Dans les régions rurales du Canada, les scientifiques soupçonnent que de nombreux puits domestiques sont contaminés par des substances provenant de sources communes comme les systèmes septiques, les réservoirs souterrains, l'huile à moteur usagée, le sel des routes, les engrais, les pesticides et les déchets d'élevage du bétail. Les scientifiques prévoient également que, dans les prochaines décennies, d'autres aquifères contaminés seront découverts, de nouveaux contaminants seront identifiés et d'autres ressources en eau souterraine contaminée seront déversées dans les terres humides, les cours d'eau et les lacs.

Dès qu'un aquifère est contaminé, il peut être inutilisable pendant des décennies. Le temps de séjour, comme on l'a mentionné auparavant, peut s'échelonner quelque part entre deux semaines et 10 000 ans.

En outre, les effets de la contamination des eaux souterraines ne s'arrêtent pas avec la perte de réserves d'eau de puits. Plusieurs études ont porté sur la migration des contaminants depuis les lieux d'élimination ou de déversements jusqu'aux lacs et cours d'eau voisins puisque les eaux souterraines font partie du cycle hydrologique, processus sur lesquels les connaissances restent fragmentaires. Au Canada, la pollution des eaux de surface par les eaux souterraines est probablement tout au moins aussi sérieuse que la contamination des réserves d'eau souterraine. Empêcher la contamination en premier lieu est de loin la solution la plus pratique du problème. Elle peut se réaliser par l'adoption de pratiques efficaces de gestion des eaux souterraines par les gouvernements, les industries et tous les Canadiens. Il est vrai que des progrès sont accomplis dans cette direction; toutefois, les efforts sont entravés par une sérieuse pénurie d'experts en eaux souterraines et par un manque général de connaissances sur le comportement de ces eaux.

Les eaux souterraines et le génie

Les eaux souterraines peuvent avoir des répercussions majeures sur les études techniques et géotechniques. L'étude des eaux souterraines est essentielle pour les ingénieurs qui construisent des barrages, des tunnels, des aqueducs de transport d'eau, des mines et d'autres ouvrages. Il faut tenir compte de l'eau souterraine dans tous les cas où la stabilité des pentes est un facteur important, que la pente soit naturelle ou aménagée. L'eau souterraine doit également être prise en compte dans la conception de mesures de lutte contre les inondations. Dans toutes ces situations, l'écoulement de l'eau souterraine et la pression des fluides peuvent créer de sérieux problèmes géotechniques.

L'eau souterraine peut causer, par exemple, des instabilités de structure dans les barrages, ou bien elle peut s'écouler tout autour du barrage comme ce fut le cas au barrage Jerome en Idaho. L'eau s'est infiltrée si facilement à travers les formations de roche entourant le réservoir que le barrage ne retenait plus d'eau, même si la conception de sa structure était correcte.

Dans un autre cas, lors de l'exploration géologique en vue de la construction du barrage de Revelstoke en Colombie-Britannique, les géologues et les ingénieurs étaient préoccupés par un ancien glissement de terrain sur la rive du futur réservoir. Ils estimaient que l'eau retenue dans le réservoir pourrait suffisamment augmenter les pressions de l'eau souterraine pour rendre l'ancien glissement de terrain instable. La solution consistait à augmenter le drainage autour du glissement pour assurer que les pressions de l'eau souterraine n'augmentent pas. En 1963, des conditions semblables dans le réservoir de Vaiont, en Italie, avaient causé un glissement de terrain entraînant la mort de 2 500 personnes.

D'autres problèmes résultent de l'utilisation excessive de l'eau souterraine. Il s'agit de la surexploitation due au prélèvement de quantités d'eau à un rythme supérieur au taux d'alimentation naturelle. Le problème le plus évident qui en découle est une pénurie d'eau. Toutefois, la surexploitation peut également entraîner des problèmes géotechniques majeurs. Malgré son peu d'importance au Canada, la surexploitation a causé des tassements de terrain dans le monde entier et, par conséquent, de sérieuses difficultés sur le plan technique. Des secteurs de la ville de Mexico, par exemple, ont subi un tassement de 10 mètres au cours des 70 dernières années, entraînant une foule de problèmes pour le réseau de distribution d'eau et celui d'assainissement. Il peut également se produire un tassement de terrain lorsque la surface de saturation est abaissée par drainage. Au début des années 70, par exemple, tout un lotissement résidentiel à Ottawa a subi un tassement au cours de la construction d'un égout collecteur dans le voisinage, causant de graves dommages aux propriétés des résidents.

L'eau souterraine et les terres humides

Les terres humides, qui abritent en été la quasi-totalité des 45 millions de canards et d'autres oiseaux aquatiques en Amérique du Nord, ont souvent des liens très étroits avec le réseau des eaux souterraines. Certaines terres humides, par exemple des étangs dans un sol surélevé, peuvent constituer d'importantes zones d'alimentation des eaux souterraines. D'autres, particulièrement dans des zones en contrebas, peuvent être les récepteurs de quantités considérables d'émission d'eau souterraine. Par conséquent, si l'eau sous-jacente est contaminée, des effets préjudiciable se feront sentir sur la faune et toutes les autres ressources tributaires de ces terres humides.

Pour la préservation de nos réserves d'eau souterraine

Les eaux souterraines sont une ressource essentielle. Elles sont omniprésentes dans le paysage canadien et elles présentent une interconnection vitale avec nos riches ressources en eaux de surface.

La contamination des eaux souterraines est un grave problème au Canada. Les activités industrielles et agricoles sont les principales sources de contaminants, mais les foyers canadiens présentent des sources d'une importance égale.

La circulation des eaux souterraines est si lente que les problèmes mettent longtemps à apparaître. En raison de ce phénomène, et en raison du coût exorbitant que représente le nettoyage d'un aquifère contaminé (si toutefois, il est possible), il est préférable et de loin de prévenir en premier lieu tout risque de contamination. Par exemple, les réservoirs non étanches peuvent être remplacés par des réservoirs anticorrosion; les décharges peuvent être aménagées dans des lieux où les produits de lixiviation ne contamineront pas les eaux souterraines sous-jacentes; et les répercussions des déversements de produits dangereux peuvent être réduits par la limitation de l'accès aux zones d'alimentation.

Tous les paliers de gouvernement au Canada commencent à prendre certaines mesures nécessaires pour protéger nos réserves d'eau souterraine, mais il faudra attendre encore longtemps avant la pleine concrétisation de ces mesures. Par ailleurs, les universités et les instituts de recherche gouvernementaux menent des études sur les eaux souterraines et sur les moyens permettant de les préserver, voire d'améliorer leur accessibilité. Tant au niveau de la société qu'à celui des particuliers, nous devons veiller à la protection des eaux souterraines contre la contamination.

Les eaux souterraines sont tout aussi importantes que les lacs et les cours d'eau étincelants de notre vision du Canada. Ce trésor national est peut-être «caché», mais il ne faut pas l'oublier.

Les eaux souterraines et le génie

Les eaux souterraines peuvent avoir des répercussions majeures sur les études techniques et géotechniques. L'étude des eaux souterraines est essentielle pour les ingénieurs qui construisent des barrages, des tunnels, des aqueducs de transport d'eau, des mines et d'autres ouvrages. Il faut tenir compte de l'eau souterraine dans tous les cas où la stabilité des pentes est un facteur important, que la pente soit naturelle ou aménagée. L'eau souterraine doit également être prise en compte dans la conception de mesures de lutte contre les inondations. Dans toutes ces situations, l'écoulement de l'eau souterraine et la pression des fluides peuvent créer de sérieux problèmes géotechniques.

L'eau souterraine peut causer, par exemple, des instabilités de structure dans les barrages, ou bien elle peut s'écouler tout autour du barrage comme ce fut le cas au barrage Jerome en Idaho. L'eau s'est infiltrée si facilement à travers les formations de roche entourant le réservoir que le barrage ne retenait plus d'eau, même si la conception de sa structure était correcte.

Dans un autre cas, lors de l'exploration géologique en vue de la construction du barrage de Revelstoke en Colombie-Britannique, les géologues et les ingénieurs étaient préoccupés par un ancien glissement de terrain sur la rive du futur réservoir. Ils estimaient que l'eau retenue dans le réservoir pourrait suffisamment augmenter les pressions de l'eau souterraine pour rendre l'ancien glissement de terrain instable. La solution consistait à augmenter le drainage autour du glissement pour assurer que les pressions de l'eau souterraine n'augmentent pas. En 1963, des conditions semblables dans le réservoir de Vaiont, en Italie, avaient causé un glissement de terrain entraînant la mort de 2 500 personnes.

D'autres problèmes résultent de l'utilisation excessive de l'eau souterraine. Il s'agit de la surexploitation due au prélèvement de quantités d'eau à un rythme supérieur au taux d'alimentation naturelle. Le problème le plus évident qui en découle est une pénurie d'eau. Toutefois, la surexploitation peut également entraîner des problèmes géotechniques majeurs. Malgré son peu d'importance au Canada, la surexploitation a causé des tassements de terrain dans le monde entier et, par conséquent, de sérieuses difficultés sur le plan technique. Des secteurs de la ville de Mexico, par exemple, ont subi un tassement de 10 mètres au cours des 70 dernières années, entraînant une foule de problèmes pour le réseau de distribution d'eau et celui d'assainissement. Il peut également se produire un tassement de terrain lorsque la surface de saturation est abaissée par drainage. Au début des années 70, par exemple, tout un lotissement résidentiel à Ottawa a subi un tassement au cours de la construction d'un égout collecteur dans le voisinage, causant de graves dommages aux propriétés des résidents.

L'eau souterraine et les terres humides

Les terres humides, qui abritent en été la quasi-totalité des 45 millions de canards et d'autres oiseaux aquatiques en Amérique du Nord, ont souvent des liens très étroits avec le réseau des eaux souterraines. Certaines terres humides, par exemple des étangs dans un sol surélevé, peuvent constituer d'importantes zones d'alimentation des eaux souterraines. D'autres, particulièrement dans des zones en contrebas, peuvent être les récepteurs de quantités considérables d'émission d'eau souterraine. Par conséquent, si l'eau sous-jacente est contaminée, des effets préjudiciable se feront sentir sur la faune et toutes les autres ressources tributaires de ces terres humides.

Pour la préservation de nos réserves d'eau souterraine

Les eaux souterraines sont une ressource essentielle. Elles sont omniprésentes dans le paysage canadien et elles présentent une interconnection vitale avec nos riches ressources en eaux de surface.

La contamination des eaux souterraines est un grave problème au Canada. Les activités industrielles et agricoles sont les principales sources de contaminants, mais les foyers canadiens présentent des sources d'une importance égale.

La circulation des eaux souterraines est si lente que les problèmes mettent longtemps à apparaître. En raison de ce phénomène, et en raison du coût exorbitant que représente le nettoyage d'un aquifère contaminé (si toutefois, il est possible), il est préférable et de loin de prévenir en premier lieu tout risque de contamination. Par exemple, les réservoirs non étanches peuvent être remplacés par des réservoirs anticorrosion; les décharges peuvent être aménagées dans des lieux où les produits de lixiviation ne contamineront pas les eaux souterraines sous-jacentes; et les répercussions des déversements de produits dangereux peuvent être réduits par la limitation de l'accès aux zones d'alimentation.

Tous les paliers de gouvernement au Canada commencent à prendre certaines mesures nécessaires pour protéger nos réserves d'eau souterraine, mais il faudra attendre encore longtemps avant la pleine concrétisation de ces mesures. Par ailleurs, les universités et les instituts de recherche gouvernementaux mènent des études sur les eaux souterraines et sur les moyens permettant de les préserver, voire d'améliorer leur accessibilité. Tant au niveau de la société qu'à celui des particuliers, nous devons veiller à la protection des eaux souterraines contre la contamination.

Les eaux souterraines sont tout aussi importantes que les lacs et les cours d'eau étincelants de notre vision du Canada. Ce trésor national est peut-être « caché », mais il ne faut pas l'oublier.

Bibliography

American Chemical Society. Ground Water Information Pamphlet, Department of Public Affairs, Washington, 1983, 14 p.

American Institute of Professional Geologists. *Ground Water: Issues and Answers,* Arvado, Colo., 1986, 24 p.

Bowen, Robert. *Groundwater.* Elsevier Applied Science Publishers, Londres, R.-U., 1986, 427 p.

Cherry, John A. «Groundwater Occurrence and Contamination in Canada», *Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Sciences,* préparé pour le ministère des Pêches et des Océans (1987), Ottawa, Canadian Aquatic Resources, M.C. Healey et R.R. Wallace (éd.), no 215, p. 387-426.

Comité consultatif fédéral-provincial de l'hygiène du milieu et du travail. *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada,* 4e éd., Santé et Bien-être social Canada, Ottawa, 1989, 27 p.

Coon, David, et Janice Harvey. *The Groundwater, Pollution Primer.* Conservation Council, Fredericton (N.-B.), juillet 1987, 44 p.

Freeze, R. Allen, et John A. Cherry. *Groundwater,* Prentice-Hall, Englewood Cliffs N.J., 1979, 604 p.

Hess, Paul J. *Utilisation des eaux souterraines au Canada, 1981,* Institut national de recherche en hydrologie, rapport nº 28 de l'INRH, étude nº. 140 de la Collection des rapports techniques de la DGEI, Ottawa, 1986, 45 p.

Johnston, L.M. et J.A. Gilliland. «Ground Water — Why Worry?», rapport inédit, Institut national de recherche en hydrologie, NHRI Contribution No. 87008, Saskatoon (Sask.), 1987.

Keating, Michael. *To the Last Drop: Canada and the World's Water Crisis,* MacMillan, Toronto, 1986, 265 p.

Laycock, A.H. «The Amount of Canadian Water and its Distribution», *Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Sciences,* préparé pour le ministère des Pêches et des Océans (1987), Ottawa, Canadian Aquatic Resources, M.C. Healey et R.R. Wallace (éd.), no 215, p. 13-42.

McNeeley, R.N., Neimanis, V.P., et L. Dwyer. *Références sur la qualité des eaux : Guide des paramètres de la qualité des eaux,* Direction générale des eaux intérieures, Direction de la qualité des eaux, Ottawa, 1980, 100 p.

Price, Michael. *Introducing Groundwater,* George Allen & Unwin, Londres, R.-U., 1985, 195 p.

Speidel, David H., Ruedisili, L.C., et A.F. Agnew. *Perspectives on Water, Uses and Abuses,* Oxford University Press, New York (N.Y.), 1988.

Todd, David Keith. *Groundwater Hydrology,* 2e éd., John Wiley & Sons (ed.), New York (N.Y.), 1980, 535 p.

U.S. Environmental Protection Agency. *EPA Ground Water Handbook,* Government Institutes Inc., Rockville (Md.), 1989, 212 p.

Plongez-vous dans ce fascinant sujet!

Une initiative du Plan vert du Canada, l'écocivisme vise l'émergence d'une société où les individus et les groupes possèdent des connaissances et des valeurs qui les aideront à agir dans l'intérêt de l'environnement. La collection Eau douce a pour objectif de fournir des connaissances de base sur les questions et préoccupations relatives à l'eau au Canada. Pour obtenir un complément d'information, veuillez écrire ou téléphoner au bureau d'Environnement Canada le plus près de chez ou encore vous adresser à :

Informathèque
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0H3

Tél. : (819) 997-2800
1-800-668-6767 (sans frais)
Téléc. : (819) 953-2225

Available in English upon request

Ce document peut être reproduit à des fins éducatives; prière d'inclure une mention faisant référence à Environnement Canada.

Révisé en décembre 1993

Imprimé sur du papier contenant des rebuts récupérés

Conception : Le Groupe Ove Design, Ottawa

Publié avec l'autorisation du ministre de l'Environnement

© Ministre des Approvisionnements et Services, Canada, 1993

Nº de cat. En 37-81/5-1993F
ISBN 0-662-96366-0